

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicada

Carrera en Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

**PROPUESTA TÉCNICA ECONÓMICA PARA UN SISTEMA DE GENERACIÓN
SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED PARA EL
SUPERMERCADO MI REY UBICADO EN LA CIUDAD DE IBARRA**

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la
obtención del título de grado de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico.

Autor:

Cristian Paul Tasinchana Cadena

Director:

Ing. Eliana Carolina Ormeño Mejía M.Sc.

Ibarra-Ecuador

Abril 2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100382644-1
APELLIDOS Y NOMBRES:	Tasinchana Cadena Cristian Paul
DIRECCIÓN:	Ibarra - Yahuarcocha
EMAIL:	cptasinchanac@utn.edu.ec
TELÉFONO MÓVIL:	0967125801

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	PROPUESTA TÉCNICA ECONÓMICA PARA UN SISTEMA DE GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED PARA EL SUPERMERCADO MI REY UBICADO EN LA CIUDAD DE IBARRA
AUTOR:	Tasinchana Cadena Cristian Paul
FECHA: DD/MM/AAAA	08/05/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Eliana Ormeño

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 25 días del mes de junio de 2021

EL AUTOR:



.....
Tasinchana Cadena Cristian Paul
100382644-1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

Yo, Eliana Ormeño en calidad de tutor del señor estudiante, Tasinchana Cadena Cristian Paul certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: "PROPUESTA TÉCNICA ECONÓMICA PARA UN SISTEMA DE GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED PARA EL SUPERMERCADO MI REY UBICADO EN LA CIUDAD DE IBARRA". Para la obtención del título de ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, aprobado la defensa, impresión y empastado.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Eliana Ormeño", is written over a horizontal line.

MSc. Eliana Ormeño

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

DEDICATORIA

Dedico principalmente este trabajo de investigación a Dios, por darme la oportunidad de continuar formándome profesionalmente y por haber puesto en mi camino a las personas adecuadas para lograr un objetivo más en mi vida

A mis padres, Rosita Cadena y Luis Tasinchana, por haberme dado tanto en esta vida y brindarme su apoyo incondicional.

A mi sobrina Kerly Rosero para que sepa que todos los logros que se imponga son posibles si es constante y se esfuerza por conseguirlos

En especial dedico este trabajo a Jomara Rosero que ha sido un bastón, una mano de apoyo y sobretodo una persona indispensable en mi vida

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que conforman la Universidad Técnica del Norte, cuerpo administrativo, docentes, personal de limpieza y seguridad, porque gracias a su trabajo hacen que muchos estudiantes tengan un lugar donde formarse académicamente y profesionalmente.

A mis familiares, amigos que a lo largo de mi vida académica han llegado a contribuir de forma directa e indirecta a la culminación de esta etapa de mi vida

TABLA DE CONTENIDO

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	II
2. CONSTANCIAS	III
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
A1. Contextualización.....	xiv
A2. Planteamiento del problema	xv
A3. Formulación del problema	xv
A4. Justificación – detalle del impacto	xv
A5. Alcance.....	xvi
A6. Objetivo general	xvi
A7. Objetivos específicos	xvii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Energía renovable	1
1.2 Tipos de energías renovables	1
1.2.1 Energía eólica	1
1.2.2 Energía nuclear	2
1.2.3 Energía mareomotriz.....	2
1.2.4 Energía hidráulica	2
1.2.5 Energía térmica	3
1.2.6 Energía solar	3
1.2.7 Energía solar térmica	3
1.2.8 Energía solar fotovoltaica.....	4
1.3 Geometría solar	5
1.4 Irradiación solar del Ecuador.....	5
1.5 Efecto fotovoltaico	6
1.6 Celda fotovoltaica	6
1.6.1 Silicio monocristalino.....	7

1.6.2	Silicio policristalino	7
1.6.3	Silicio amorfo	7
1.7	Sistemas fotovoltaicos	7
1.7.1	Sistema fotovoltaico conectado a la red	9
1.7.2	Sistemas de fotovoltaicos independientes a la red o autónomos	10
1.8	Componentes de un sistema fotovoltaico	11
1.8.1	Panel solar	11
1.8.2	Inversor	12
1.8.3	Sistema de puesta a tierra	14
1.8.4	Cableado	15
1.8.5	Protecciones y elementos de maniobra	16
1.8.6	Medidor bidireccional	16
1.9	Normativa Ecuatoriana	17
CAPÍTULO II		19
DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA CON CONEXIÓN A RED....		19
2.1	Introducción	19
2.2	Metodología para el diseño del sistema de generación fotovoltaica	19
2.3	Formulación de parámetros matemáticos	21
2.4	Descripción del lugar de estudio	26
2.5	Comportamiento de la carga	28
2.6	Cálculo de los parámetros	29
2.6.1	Determinación de potencia diaria del sistema fotovoltaico	29
2.6.2	Determinación de las Horas solar pico	31
2.6.3	Determinación del factor de rendimiento	32
2.7	Cálculo de los parámetros y componentes del sistema	32
2.7.1	Potencia fotovoltaica	33
2.7.2	Cálculo del número de paneles fotovoltaicos	33
2.7.3	Selección y dimensionamiento del inversor con conexión a red	33
2.8	Determinación del conexionado de los paneles solares	34
2.8.1	Paneles en serie	34
2.8.2	Paneles en paralelo	34
2.9	Determinación de la orientación de los módulos	35
2.10	Determinación del coeficiente de inclinación	35
2.11	Determinación de la separación entre paneles	35
2.12	Obtención de las pérdidas por orientación	36

2.13	Distribución de paneles	37
2.14	Estructura soporte	38
2.15	Dimensionamiento de los conductores	38
2.16	Cálculo de las protecciones en corriente continua y alterna	40
2.17	Medidor bidireccional.....	40
2.18	Sistema de puesta a tierra	41
2.19	Simulación	41
2.20	Diagrama unifilar del generador fotovoltaico conectado a la red	42
CAPÍTULO III.....		43
ESTUDIO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO CON CONEXIÓN A LA RED.....		43
3.1	Metodología para el análisis económico.....	43
3.2	Formulación matemática para la viabilidad del proyecto.....	44
3.3	Valor actual neto.....	44
3.4	Periodo de recuperación	44
3.5	Tasa interna de rentabilidad.....	45
3.6	Energía resultante	45
3.7	Viabilidad ambiental	45
3.8	Costos totales	46
3.9	Análisis económico.....	49
3.10	Factibilidad técnica	53
3.11	Factibilidad económica.....	54
3.12	Aspecto ambiental	55
CONCLUSIONES.....		56
RECOMENDACIONES		57
REFERENCIAS.....		58
ANEXOS.....		62
ANEXO A.....		62
.....		63
ANEXO B.....		65
ANEXO C.....		66
ANEXO D.....		67
ANEXO E.....		68
ANEXO F		69
ANEXO G.....		75

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Dique sobre el río Rance (Francia), generador mareomotriz	2
Fig. 2. Energía solar térmica	3
Fig. 3. Radiación global	4
Fig. 4. Irradiación Solar Global Horizontal (GHI)	6
Fig. 5. Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos	8
Fig. 6. Esquema de una planta fotovoltaica conectada a la red	10
Fig. 7. Partes de un panel solar	11
Fig. 8. Conexión de paneles fotovoltaicos	12
Fig. 9. Esquema de protecciones	16
Fig. 10. Medidor Bidireccional Ltron Sentinel	17
Fig. 11. Esquema de conexión a la red	18
Fig. 12. Estructura de desarrollo del generador fotovoltaico	20
Fig. 13. Porcentaje de pérdida en orientación e inclinación	24
Fig. 14. Ubicación física del supermercado	27
Fig. 15. Diagrama de edificación y área de instalación, segunda planta	27
Fig. 16. Curva de demanda promedio del supermercado "mi REY" (lunes a viernes)	28
Fig. 17. Curva de demanda promedio del supermercado "mi REY" para fines de semana	28
Fig. 18. Energía consumida diaria del supermercado	29
Fig. 19. Historial de consumo mensual del supermercado	30
Fig. 20. Distancia mínima entre paneles fotovoltaicos	36
Fig. 21. Diagrama de edificación y área de instalación, segunda planta	37

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 1

TABLA 1. 1 Rendimiento de los tipos de celdas	7
TABLA 1. 2 Partes principales de sistema fotovoltaico conectado a red.....	9
TABLA 1. 3 Configuración de conexión del inversor	13
TABLA 1. 4 Elementos puesta a tierra	15

Capítulo 2

TABLA 2. 1 Datos geográficos	26
TABLA 2. 2 Promedio mensual de consumo	30
TABLA 2. 3 Irradiación solar en Imbabura e Ibarra	32
TABLA 2. 4 Características de la estructura.....	38
TABLA 2. 5 Dimensionamiento de conductores.....	39
TABLA 2. 6 Generación calculada y simulada	41

Capítulo 3

TABLA 3. 1 Generador monocristalino sobre la estructura	46
TABLA 3. 2 Generador monocristalino fijo	47
TABLA 3. 3 Generador monocristalino fijo	47
TABLA 3. 4 Generación mensual de los sistemas fotovoltaicos	48
TABLA 3. 5 Generación económica mensual.....	49
TABLA 3. 6 Sistema de generación fotovoltaico M.E. Flujo de caja, VAN, TIR y PAYBACK..	50
TABLA 3. 7 Sistema de generación fotovoltaico P.F. Flujo de caja, VAN, TIR y PAYBACK..	51
TABLA 3. 8 Sistema de generación fotovoltaico M.F. Flujo de caja, VAN, TIR y PYBACK....	52
TABLA 3. 9 Análisis de generación del sistema fotovoltaico y el supermercado	54
TABLA 3. 10 Análisis económico del sistema fotovoltaico y el supermercado	54

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad promover el uso de la generación de electricidad por medio de la energía entregada por el sol. Para ello se diseñó un sistema de generación fotovoltaica con conexión a la red y sin inyección para el supermercado “mi REY”, mismo que se desarrolla basándose en información pertenecientes al área de estudio como la irradiación, las horas pico, la orientación, entre otras. Para iniciar con el diseño se obtuvo el consumo mensual del supermercado, además, se determinó una radiación promedio de 4.85 kWh/m^2 en esta zona, valor fundamental para el diseño del generador fotovoltaico. Con base en esto, se dimensionó y seleccionó el equipamiento a utilizar en función de sus características y parámetros de operación, con la finalidad de respaldar un aproximado del 25% del total del consumo mensual. De igual manera, se simuló el sistema en el programa PVsyst, donde se obtuvo valores similares a los calculados de manera analítica. Posteriormente se realizó un estudio comparativo con dos posibles casos adicionales en el sistema de generación diseñado, uno respecto al tipo de estructura y otro de acuerdo con el tipo de panel fotovoltaico, con el objetivo de establecer y comprobar si el diseño cumple con los requerimientos, obteniendo que, el generador tiene una factibilidad técnica aceptable porque reemplaza el 21.6% de consumo energético mensual del supermercado. Por último, se demostró la viabilidad económica para su implementación. Para esto se utilizó herramientas estadísticas como el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el payback, las cuales establecieron una remuneración económica de 8 años a un interés del 10%.

Palabras claves: energía solar, red eléctrica, demanda eléctrica, sistemas fotovoltaicos

ABSTRACT

The current work aims to promote the use of electricity generation through the energy delivered by the sun. To do this, the design of a photovoltaic generation system with connection to the grid without injection was proposed for the “mi REY” supermarket, which is developed based on information sources belonging to the study area such as irradiation, peak hours, orientation, among others. To start with the design, the monthly consumption of the supermarket was obtained, in addition, an average radiation of $4.85 \text{ kWh} / \text{m}^2$ was established in this area, a fundamental value for the design of the photovoltaic generator. The equipment to be used was dimensioned and selected based on its characteristics and operating parameters, in order to support approximately 25% of the total monthly consumption. Similarly, the system was simulated in the PVsyst program, where values similar to those calculated analytically were obtained. Subsequently, a comparative study was carried out with two additional possible cases in the designed generation system, one regarding the type of structure and the other according to the type of photovoltaic panel, in order to establish and verify if the design meets the requirements, obtaining that, the generator has an acceptable technical feasibility because it replaces 21.6% of the supermarket's monthly energy consumption. Finally, the economic viability for its implementation was demonstrated. For this, statistical tools such as the net present value (NPV), the internal rate of return (IRR) and the payback were used, which established an economic remuneration of 8 years at an interest of 10%.

Keywords: solar energy, electricity grid, electricity demand, photovoltaic systems

INTRODUCCIÓN

A1. Contextualización

La electricidad se ha convertido en un pilar fundamental para el desarrollo y funcionamiento de la sociedad moderna. Esta es obtenida a partir de la energía nuclear, gas natural, combustibles fósiles y plantas hidroeléctricas, al igual que de energías renovables como son la eólica, geotérmica, biomasa y solar. Esta última es una de las energías naturales más abundante que se encuentra en la superficie del planeta tierra, gracias a ella se provocan y derivan otro tipo de energías, como la eólica. (Oñate , 2014)

El francés Alexandre-Edmond Becquerel en el año de 1839 descubrió que la luz insertada o reflejada en ciertos materiales genera una corriente eléctrica, pero no fue hasta la década de los 50 del siglo XX que se encontró el material ideal para el efecto fotovoltaico, el cual fue el silicio (Cruceira, 2019)

En el siglo XXI se impulsa la utilización de energías renovables con el fin de reducir los niveles de contaminación, como el CO₂ y otros gases, a su vez generar menor impacto en el medio ambiente. Los sistemas de generación fotovoltaico al cumplir con estos parámetros lo hacen ideal para su utilización. (Arancibia & Best, 2010)

Ecuador, cuenta con condiciones climatológicas muy variables, con un alto índice de energías renovables y limpias, haciéndolo un país apto para la generación eléctrica a partir de estas fuentes. La Secretaría de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), han creado políticas para el impulso de las energías renovables, empleando las palabras de, “garantizar el suministro energético con calidad, oportunidad, continuidad y seguridad, con una matriz energética diversificada, eficiente, sostenible y soberana como eje de la transformación productiva y social.” (SENPLADES, 2017), haciendo que la entidad ARCONEL (Agencia de Regulación y Control de Electricidad) implemente regulaciones para sus usos.

En el caso de los sistemas de generación fotovoltaicos se rigen con base a la regulación Nro. ARCONEL 003/18 y el Nro. ARCONEL 057/18 que determina las condiciones técnicas y económicas para la participación de autogeneración privada en el sector eléctrico. (ARCONEL, 2020)

Hasta abril del 2019, ARCONEL registró una potencia nominal de generación de 58.33% por las hidroeléctricas, 39,16% de energía térmica y se encontraron en la minoría las energías fotovoltaicas, eólicas biomasa y biogás. (Criollo, Maks, & Rodríguez, 2020)

Hasta la fecha de abril del 2020 la producción de energía fotovoltaica es de 27,63 MW representando el 0,32% de potencia nominal a nivel nacional. Para usuarios comerciales el consumo energético es de 15,57%, siendo el 3,87GWh. (ARCONEL, 2020)

La provincia de Imbabura al encontrarse en una zona elevada geográficamente, se estima que tiene alrededor de 5 275 Wh/m²/día de insolación global, haciéndola apta para la generación eléctrica por este medio, por lo que existen varios sistemas de generación solar fotovoltaicos instalados. (CONELEC, 2008)

Uno de los tantos usuarios comerciales con los que cuenta Ibarra cantón de Imbabura, es el supermercado “mi REY”, se encuentra ubicado en la calle Teodoro Gómez y Sánchez y Cifuentes, este emprendimiento empezó en el año 2001 con un pequeño local de abasto ubicado en el centro de la ciudad.

A2. Planteamiento del problema

El incremento en la demanda energética presenta varias problemáticas en los ámbitos energético, económico y social, tanto al consumidor como al distribuidor. Este es el caso del supermercado “mi REY” (consumidor) que, en la actualidad, al disponer de electrodomésticos de pequeño (Cámaras, lámparas, etc.) y gran consumo (congeladores, frigoríficos, etc.) han requerido un promedio de 5 464.1 kWh de consumo energético por mes.

Este supermercado por presentar un alto nivel de consumo energético, ser categoría usuario comercial y por encontrarse en la ampliación del negocio, está siendo obligado a cumplir con las regulaciones impartidas por ARCONEL(distribuidor), como es la conexión a media tensión con su respectivo transformador. Produciendo económicamente valores adicionales y no solucionando su alto consumo energético de la red.

A3. Formulación del problema

¿Cómo desarrollar una propuesta técnica-económica para un sistema de generación solar fotovoltaico conectado a red para reducir dependencia de la red eléctrica principal en el supermercado “mi REY” ubicado en la ciudad de Ibarra?

A4. Justificación – detalle del impacto

La creación de proyectos que están enfocados en la generación eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos en micro generación beneficiará al medio ambiente, porque se evitará que se

exploten lugares ecológicos y se construyan centrales hidroeléctricas u otro tipo de sistemas de generación.

La existencia de políticas y regulaciones que impulsen a la micro generación y el autoabastecimiento en el Ecuador facilita y beneficia a dos partes principalmente, por un lado, al estado como proveedor en el ámbito de mejoramiento de calidad de energía eléctrica y por otro al usuario como consumidor y beneficiario.

Al ser el consumo energético directamente proporcional al ámbito económico en régimen de las políticas impartidas por la agencia de regulación y control (ARCONEL) con su representante en Ibarra EMELNORTE, es recomendable implementar otras fuentes de suministro cuando exista una elevada demanda energética.

Este es el caso del supermercado “mi REY” que, si contará con un diseño de un generador solar fotovoltaico abrirá las puertas a la auto generación e innovación en tipos de generación eléctrica no convencionales. Por último, el propietario de este negocio al reducir su dependencia del consumo de la red eléctrica podría obtener una disminución en los pagos de servicio eléctrico.

A5. Alcance

El presente proyecto está enfocado en reducir la dependencia energética de la red principal que tiene el supermercado “Mi REY” que se encuentra en la ciudad de Ibarra, mediante el diseño de un generador solar fotovoltaico conectado a red. Basándose por la metodología investigativa tecnológica se realizará el estudio energético para determinar el porcentaje de reducción de dependencia de la red eléctrica. Tomando como punto de partida el recurso solar (atlas solar del Ecuador) existente en la ciudad de Ibarra y a continuación determinar los equipos a usar como son los paneles solares, el inversor, el medidor, el cableado y sus respectivas protecciones.

Además, se realizará un análisis económico para la implementación de este generador solar fotovoltaico con conexión a la red eléctrica, considerando la inversión económica y su respectiva recuperación.

A6. Objetivo general

Desarrollar una propuesta técnico-económica de un sistema de generación fotovoltaica conectada a la red para el Supermercado “mi REY” para reducir la dependencia de la red eléctrica, mediante la utilización de energías renovables no convencionales.

A7. Objetivos específicos

1. Estudio comparativo de tecnologías para la generación fotovoltaica con conexión a red en instalaciones comerciales.
2. Diseño del sistema de generación fotovoltaica con conexión a red.
3. Realizar un estudio económico para la implementación del generador fotovoltaico con conexión a la red.

CAPÍTULO I

Marco Teórico

El capítulo presente tiene como principio el describir y entender el comportamiento de las tecnologías necesarias para el desarrollo del sistema de generación fotovoltaico conectado a la red, además de introducir y dar a conocer el nivel de radiación existente en el Ecuador y en especial en la zona de investigación.

1.1 Energía renovable

En la actualidad, los avances tecnológicos se encuentran enfocados en la utilización de las energías renovables o también llamadas energías limpias, estas son nacientes o procedentes de recursos abundantes e inagotables como son la energía eólica, térmica, hidráulica, geotérmica, nuclear, biomasa, mareomotriz y la fotovoltaica, este último es el pilar fundamental para desarrollar el tema de investigación. (Romero & Flores, 2019)

En el Ecuador, de toda la energía eléctrica que se produce, el 85% proviene de fuentes naturales, y en su mayoría la conforma la hidráulica (energía potencial de agua), además se cuenta con otras fuentes no renovables como la térmica (generado por la quema de fósiles). (Ecuatran, 2020)

1.2 Tipos de energías renovables

La denominación de la energía está dada en base a su comportamiento y los cambios que genera es por ello que a continuación se presentan un concepto de cada uno.

1.2.1 Energía eólica

La energía eólica es producida por el sol cuando este calienta las masas de aire en la atmósfera y genera diferenciales de temperatura entre masas y por último genera movimiento o también llamado viento. El aprovechamiento de este recurso se realiza mediante la energía mecánica de rotación, (ITC, 2008) en la actualidad la energía eólica es una gran fuente de generación eléctrica, los principios de aerodinámica en las aspas de un aerogenerador capturan la cinética del viento y por medio del movimiento de rotación lo convierte en energía eléctrica. (Rosero, Garza, Minchala, Pozo, & Morales, 2013)

1.2.2 Energía nuclear

Al igual que la energía termoeléctrica al hervir agua y generar vapor para que este circule y mueva las turbinas de un generador eléctrico, del mismo modo las plantas nucleares utilizan el uranio, bajo el principio de aprovechamiento de energía y por medio de la fisión nuclear, que tiene como fundamento la separación de los átomos de uranio en otros más pequeños como es el fotón, neutrón entre otros, esta acción genera y contiene grandes cantidades caloríficas. (Picquart, 2016)

1.2.3 Energía mareomotriz

El proceso de generación eléctrica por medio de energía mareomotriz se basa en el aprovechamiento en el movimiento de las olas del mar, en ciclos de ascenso y descenso provocado por la acción de gravitatoria del sol y la luna, el proceso de generación es por medio de diques donde obtienen un diferencial de altura y al descender la bajamar, mueva los generadores eléctricos. Un ejemplo de energía mareomotriz se puede observar en Figura 1. (Perales, 2015)



Fig. 1. Dique sobre el río Rance (Francia), generador mareomotriz

Fuente: (Perales, 2015)

1.2.4 Energía hidráulica

La energía hidráulica tiene como proceso la retención del agua en embalses o represas a grandes alturas, integrado en sí energía potencial gravitatoria, donde en un momento deseado desciende a un nivel inferior (energía cinética) y provoque el movimiento de las turbinas de un generador eléctrico. La energía hidráulica es considerada como una de las más limpias y con un impacto mínimo al medio ambiente, las desventajas que puede presentar en este tipo de energía es la reducción de caudales de río, posibles inundaciones en la fauna terrestre. La producción de electricidad en Ecuador está compuesta en su mayor parte por energía hidráulica (Ortiz , 2015)

1.2.5 Energía térmica

La energía térmica es la manifestación energética de las altas temperaturas que se somete al agua, cambiando su estado en vapor y provocando trabajo. La generación de energía eléctrica a partir de la energía térmica es por medio de la quema de combustibles como el carbón, el diésel, gas natural, entre otros, esta acción calienta el agua y lo convierte en vapor mismo que circula por bloques de potencia y provocan el movimiento de las turbinas de alta presión. (Guerrero & Leon , 2018)

1.2.6 Energía solar

La energía solar lleva este nombre porque hace referencia a la energía que se obtiene a partir del sol, El sol es una fuente inagotable que lleva aproximadamente 4.5 millones de años alimentando de energía al planeta tierra, alrededor de $1368 \pm 0.65 \text{ W/m}^2$ de irradiación genera el sol hacia la superficie de la tierra, considerando que existe perdidas en la atmósfera de alrededor del 30% a 40% dando como resultado un 1000 W/m^2 de radiación. (Iza, 2020)

Anualmente el planeta tierra recibe un aproximado de 1.6 millones de kilovatios (kWh) pero solo el 40% de esta cantidad es utilizable. Es tal la cantidad de energía que se recibe que en solo dos días completamos la equivalente a las reservas de energía de gas, carbón y petróleo. Existen dos tipos de tecnologías solares principales que se benefician de la energía solar; la energía solar activa y la pasiva. La primera tiene referencia a la energía solar fotovoltaica y térmica. (Romero & Flores, 2019)

1.2.7 Energía solar térmica

La principal característica de la energía solar térmica es que, la energía procedente del sol es transmitida a un sistema portador de calor, que opera con agua o aire. Las aplicaciones más comunes son para la calefacción en viviendas y generación eléctrica por medio de la

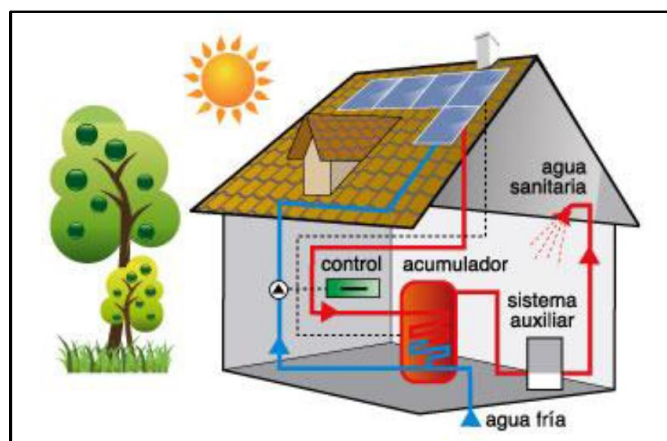


Fig. 2. Energía solar térmica

Fuente: (Romero & Flores, 2019)

concentración de calor para generar altas temperaturas y mover turbinas de un generador eléctrico (Gil, 2015), en Figura 2 se muestra un ejemplo de la aplicación de la energía térmica.

1.2.8 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica tiene como función principal de transformar los rayos de sol en energía eléctrica, partiendo de las propiedades eléctricas que tienen los materiales, como es el silicio que es un semiconductor. En la implementación de los paneles se recomienda ubicar en un Angulo de 5° a 15° con el fin de que exista una inclinación y provocar la caída de agua o cualquier objeto que pueda obstruir la recepción de la energía solar, (Cruceira, 2019) a continuación se presentan los fundamentos de radiación que engloban a la energía solar.

1.2.8.1 Radiación solar

El sol emite energía en todas las direcciones en forma de ondas electromagnética, estas atraviesan el espacio hasta llegar a la tierra. Como se puede apreciar en la Figura 3, El estudio de la radiación solar parte del comportamiento de la onda electromagnética, mediante esta podemos determinar el tipo de célula fotovoltaica que en la mayoría llega al 15% de eficiencia por el efecto térmico, el cual provoca pérdidas en el porcentaje de eficiencia. La radiación se divide en los siguientes tipos. (López, 2019)

- La radiación solar directa es la que incide en un cuerpo de forma directa y su unidad de medida es el Pirheliómetro.
- La radiación solar difusa es la que no llega directamente del sol, su dirección fue cambiada por diversos motivos.
- Radiación reflejada es aquella que los rayos del sol rebotan.
- Radiación global es la sumatoria de la difusa y la directa multiplicada por el coseno del ángulo cetina del sol.

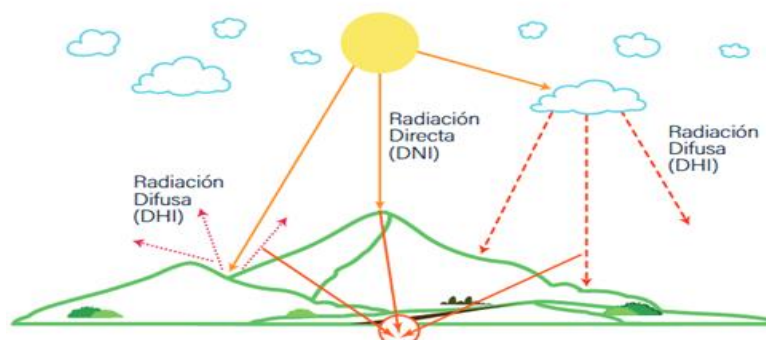


Fig. 3. Radiación global

Fuente: (Vaca & Ordoñez, 2019)

1.2.8.2 Irradiancia solar

Se considera como irradiación a la potencia instantánea que se recepta en la superficie, la unidad de medida es Wh/m^2 . La constante solar es igual $1\,367\, Wh/m^2$, misma que es la irradiancia que se recepta en un plano horizontal (exterior de la atmósfera) perpendicular a los rayos que emite el sol. (Cruceira, 2019)

1.2.8.3 Irradiación solar

La irradiación solar es la potencia receptada por el área y por un lapso o unidad de tiempo específico, en definición, es la irradiancia solar que se recibe en un tiempo determinado y su unidad de medida es Wh/m^2 y $Wh/m^2/día$ cuando se trata de un día. (Gozalbes, 2015)

1.2.8.4 Horas pico solares

En definición, las horas pico se consideran como el intervalo de tiempo que los paneles reciben energía solar existente, incluida la radiación solar difusa para alimentar un sistema de carga. (Ramos & Luna, 2014)

1.3 Geometría solar

Elevación solar es el otro nombre con el que se la conoce a la geometría solar, tiene como principio el recorrido o la posición aparente en la que se encuentra el sol en relación con la fecha y hora, gracias esto se puede predecir su trayectoria. (Gomez & Tejeda, 2015)

1.4 Irradiación solar del Ecuador

El Ecuador al ubicarse en la línea ecuatorial tiene el privilegio de gozar con una radiación solar promedio superior a otros países, llegando al punto de cuadruplicar su valor, como es el caso de España, el cual tiene un promedio de $1.600\, Wh/m^2/día$ a comparación de Ecuador que tiene $4.574,99\, Wh/m^2/día$ de radiación solar demostrando que es un país rico en referencia a la energía solar. (García, 2020)

En la Figura 4 se puede observar el mapa solar del Ecuador, el cual es un referente ideal para conocer la radiación que existe en el país en función de su área.

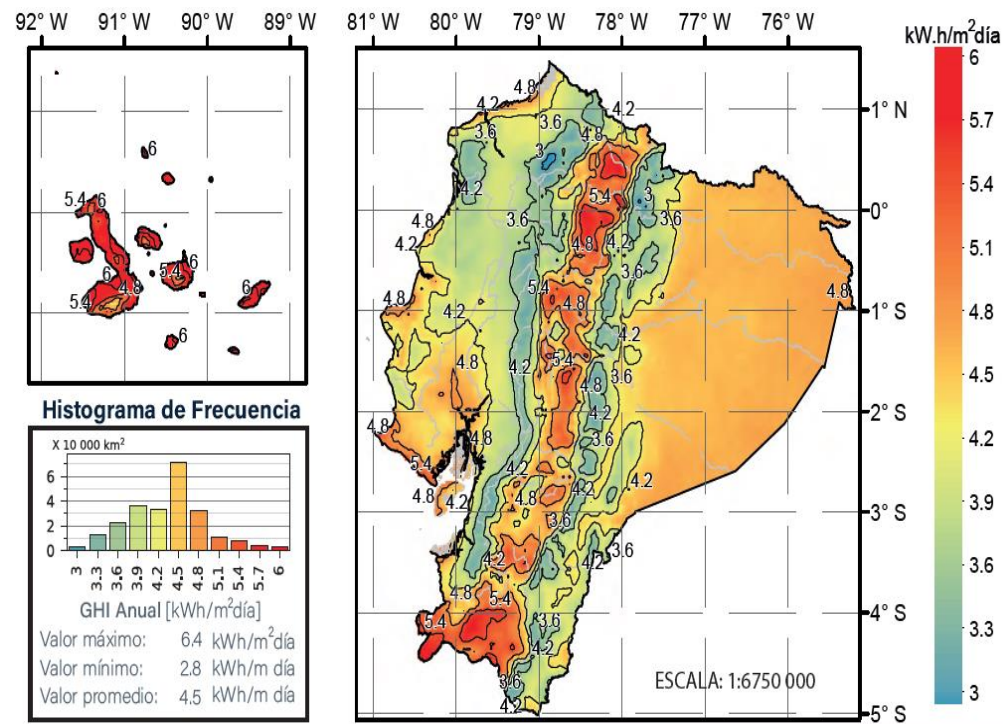


Fig. 4. Irradiación Solar Global Horizontal (GHI)

Fuente: (Vaca & Ordoñez, 2019)

1.5 Efecto fotovoltaico

La principal función del efecto fotovoltaico es generar energía eléctrica a través de la introducción de fotones de luz en materiales semiconductores específicos (silicio y entre otros), mismos que los convierten en electrones y por medio de un conductor transportar la electricidad generada. Se puede definir a los fotones como partículas mínimas que componen o forman la luz solar, no tienen masa, pero poseen las formas de energía electromagnética en su totalidad. (Carta, 2009)

1.6 Celda fotovoltaica

El proceso físico al que es sometido una célula fotovoltaica se le llama efecto fotovoltaico que en concepto es la absorción de energía solar para transformarla en energía eléctrica, para ello los materiales semiconductores (silicio uno de los materiales más abundante de a tierra) que tiene la célula fotovoltaica captan la radiación electromagnética, (Cárdenas, 2019) y a su interior al estar compuesto de una capa delgada de material tipo N (dopada de fósforo) y otra capa de mayor grosor tipo P (dopada de boro). Reciben la radiación en el material tipo n y provoca la excitación y el flujo de electrones de la capa P hacia la capa N, y por último provoca la generación de corriente eléctrica en función a la radiación recibida. Las células fotovoltaicas están definidas por el material semiconductor como son: (García, 2020)

1.6.1 Silicio monocristalino

La celda compuesta de silicio monocristalino contiene átomos que se encuentran ubicados de forma simétrica y con un mínimo de imperfecciones, debido a que contiene una sola capa cristalina. Se considera económicamente costoso y difícil de elaborar, aunque presenta mayor rendimiento, entre 13 y 15%. (Mohanty, Munner, & Kolhe, 2016)

1.6.2 Silicio policristalino

Es un proceso de cristalizado no tan sofisticado como el caso visto anteriormente por lo que su rendimiento (12-14%) y costo económico disminuye, en él se puede apreciar colores azulados con una superficie cristalizada. (Imene, 2018)

1.6.3 Silicio amorfo

En este tipo de celda ya no existe la forma de red cristalizada, pero en su interior contiene una solución hidrogenada de silicio, la cual capta la luz solar con solo tener una capa delgada de esta solución, su rendimiento (10%) y precio es mucho más inferior que las demás. (Imene, 2018)

TABLA 1. 1
RENDIMIENTO DE LOS TIPOS DE CELDAS

CELDA	RENDIMIENTO
Celda de Arsenio de galio	Rodea el 28%
Celda de sulfuro de cadmio	Alcanza el 5%
Celda de bifaciales	No se utiliza por su valor
Celda de silicio amorfo	Alrededor de 12.24%
Celda de silicio policristalino	Hasta 14%
Celda de silicio monocristalino	Alcanza el 15%

Fuente: (García, 2020)

1.7 Sistemas fotovoltaicos

La energía eléctrica abre las puertas a su generación o explotación por los métodos que se han revisado anteriormente, una de ellas es la energía fotovoltaica, la cual no utiliza

reacciones químicas, procesos térmicos o por movimiento, sino por radiación solar que no contamina el medio ambiente y no hacen ruido. Para ello se realiza el diseño de un sistema que compone de varios dispositivos y elementos eléctricos que trabajan en asociación para realizar su cometido y la vida útil de estos equipos está considerado alrededor de los 20 años. (Mohanty, Munner, & Kolhe, 2016)

Basándose en su aplicación se puede dividir en tres subsistemas como se observa en la Figura 5 al igual que las aplicaciones que cada uno de estos puede realizar. (García, 2020)

- Autónomo
- De bombeo
- Conectado a la red

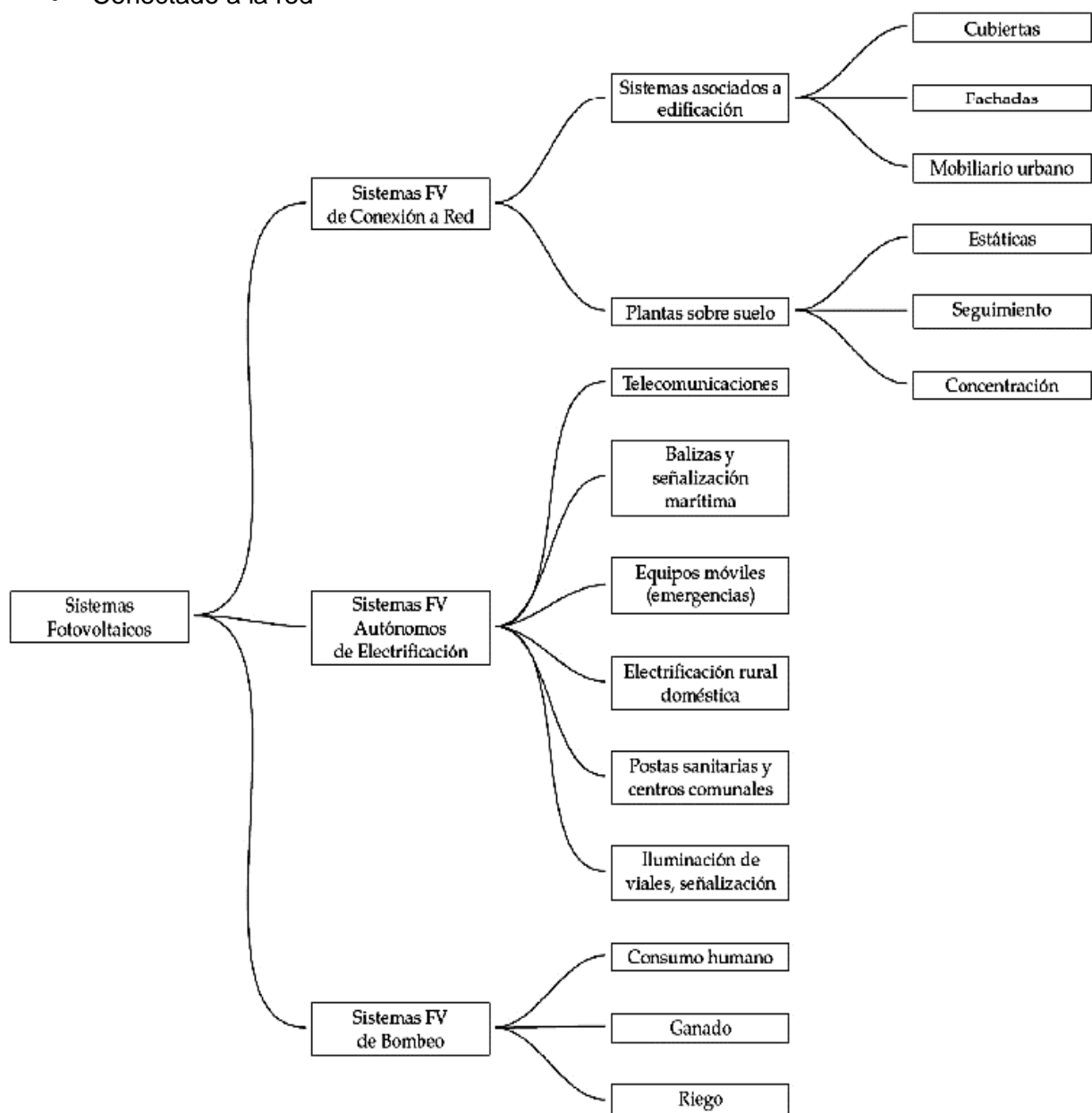


Fig. 5. Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos

Fuente: (García, 2020)

1.7.1 Sistema fotovoltaico conectado a la red

El sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) tiene la principal característica de operar conectado a la red eléctrica convencional, la energía que se genera es aprovechada por la carga a la cual se suministra o alimenta, al igual que se inyecta electricidad a la red, el objetivo principal de este sistema es reforzar su producción y anualmente disminuir el consumo de electricidad, además en dependencia del país y regulaciones que existan el propietario puede percibir remuneraciones económicas. (Buele & Chazi, 2019)

Una planta fotovoltaica conectada a la red se subdivide en tres subsistemas principales los cuales son dimensionados con base en las necesidades o requerimientos. En la Tabla 1.2 se define cada una de estas.

TABLA 1. 2

PARTES PRINCIPALES DE SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED

SUBSISTEMAS	DESCRIPCIÓN
Sistema generador (Paneles solares)	Su función principal de convertir la energía solar en energía eléctrica.
Sistema de inversor	Tiene como cargo la conversión de corriente eléctrica directa (CD) a corriente alterna (CA) con una frecuencia requerida.
Sistema de transformación	Su objetivo es elevar o disminuir los valores de voltaje.

Fuente: (Buele & Chazi, 2019)

Las ventajas que se puede al tener en un sistema fotovoltaico conectado a red son las siguientes:

- Reducción de probabilidad de daño en el sistema
- Menor contaminación ambiental
- Remuneración económica a corto plazo
- Menor mantenimiento preventivo y correctivo

Los Sistemas fotovoltaicos con sincronismo a red se instalan en dos sitios en la parte superior de una edificación o sobre el suelo, su ubicación se diferencia basándose en su capacidad de absorción de radiación solar en los paneles. Un ejemplo del conexionado de una planta fotovoltaica se observa en la Figura 6.

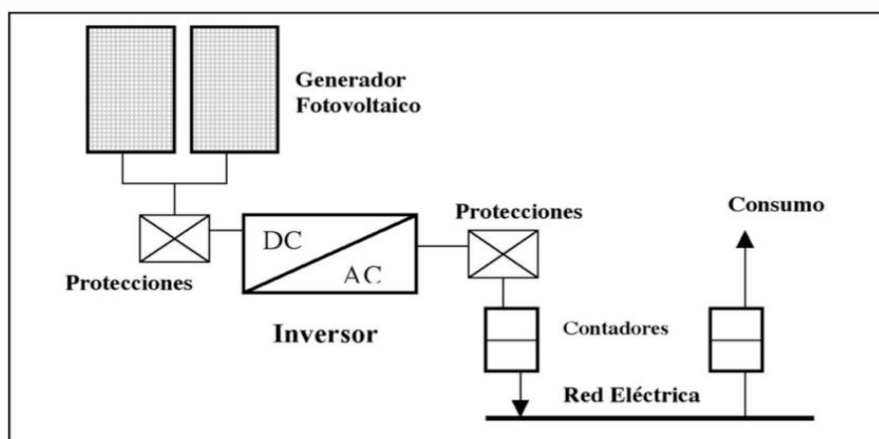


Fig. 6. Esquema de una planta fotovoltaica conectada a la red

Fuente: (Cárdenas, 2019)

- **Los sistemas fotovoltaicos con conexión a red ubicados sobre el suelo**

La característica esencial de esta configuración es aumentar la generación eléctrica de todo el año utilizando el menor espacio posible y consiguiendo costos más económicos. En este tipo de sistemas se puede utilizar sistemas de seguimiento con equipos estáticos, mismo que se configuran para poder obtener una mejor impregnación de radiación solar, gracias a los motores de corriente continua se puede modificar el grado de inclinación (sistema de seguimiento) de los paneles y como resultado se obtendría un perpendicular a los rayos del sol, maximizando el rendimiento al captar radiación solar. En el caso de los sistemas estáticos se preocupará una sola ubicación (sin ángulo de inclinación) en posición en la cual se recepte la mayor radiación posible. (Perpiñan, 2020)

- **Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red ubicados sobre edificaciones**

El sistema fotovoltaico sobre edificaciones es más complicado que el anterior porque se presentan diversos factores como son la limitación del espacio, la inclinación y la orientación, además que según su estructura los sistemas de seguimiento son mucho menor o inexistentes, al igual que se debe considerar la potencia a requerir porque de esto depende la cantidad de paneles a instalar o utilizar y esto conlleva la cantidad de carga a la cual se va a alimentar. (Buele & Chazi, 2019)

1.7.2 Sistemas de fotovoltaicos independientes a la red o autónomos

Son aquellos sistemas que no tienen ningún tipo de conexión a la red de ahí su denominación como autónomos, sus aplicaciones más comunes se pueden observar en las

zonas rurales o lugares alejados de red eléctrica. En función de su carga estos sistemas tienen variaciones o diferentes características. (ITC, 2008)

1.8 Componentes de un sistema fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos se estructuran con base la integración de diferentes equipos electrónicos donde cada uno de estos cumplen una función para establecer una sola operación global, a continuación, se describen cada uno de estos.

1.8.1 Panel solar

Un panel solar no es más que la unión de un número determinado de celdas fotovoltaicas que se encuentran interconectadas entre sí, con el fin de obtener un diferencial de potencial (voltaje) y corriente según se requiera, para ello la unión o conexión puede realizarse en serie para elevar el diferencial de potencial e igualar la corriente, y para elevar la corriente y mantener el voltaje constante se realiza la conexión en paralelo. Con el fin no obtener problemas mecánicos o eléctricos se protegen a las celdas fotovoltaicas con una cubierta de vidrio (Cárdenas, 2019). Se puede apreciar las partes del módulo fotovoltaico en la Figura 7.



Fig. 7. Partes de un panel solar

Fuente: (Cárdenas, 2019)

Las conexiones que se pueden realizar entre paneles dependen especialmente de los requerimientos del sistema fotovoltaico, considerando que, no se puede conectar paneles de distintas características ni de marcas diferentes, (Tobajas, 2018) en la Figura 8 se indican las conexiones de los paneles, además de describir su función:

- a) **Conexionado en paralelo:** La conexión en paralelo consta en conectar los polos positivos y los polos negativos entres si

- b) **Conexionado en serie:** la conexión en serie consta en conectar los polos negativos con los positivos de una forma secuencial.
- c) **Conexionado en serie-paralelo:** este tipo de conexión consta del conexionado en serie y en paralelo

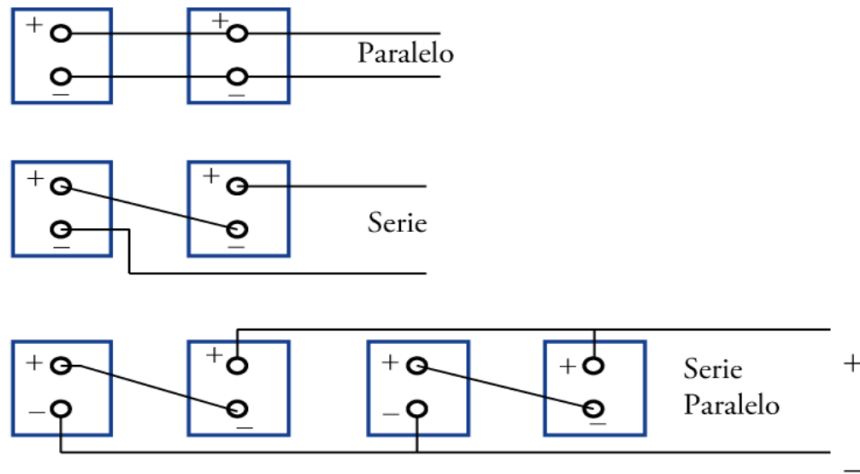


Fig. 8. Conexionado de paneles fotovoltaicos

Fuente: (Tobajas, 2018)

1.8.2 Inversor

El inversor u ondulator es un dispositivo que tiene como objetivo principal el transformar la corriente continua CC obtenida por los paneles en corriente alterna AC, con las características que se requieran en este caso sinusoidal monofásico o trifásico. (Ortiz , 2015) Se puede clasificar en primera instancia basándose en la señal de salida ya sea onda modificada, onda cuadrática y la onda sinusoidal, misma que se usa en la gran mayoría de instalaciones de sistemas fotovoltaicos y en el caso de la onda modificada solo cuando existe una carga con una potencia nominal menor a los 400 W. (Iza, 2020)

En la instancia de que los inversores forman parte de los sistemas fotovoltaicos se clasifican según su aplicación como son:

- Inversor autónomo
- Inversor híbrido
- Inversor conectado a red

1.8.2.1 Inversor con conexión a red

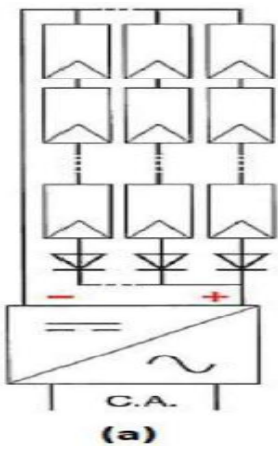
La característica de principal del inversor conectado a red es que tiene la posibilidad de operar alimentado de forma directa a los paneles (generador fotovoltaico), además que no afecta a la calidad de energía de la red eléctrica porque tiene la capacidad de auto

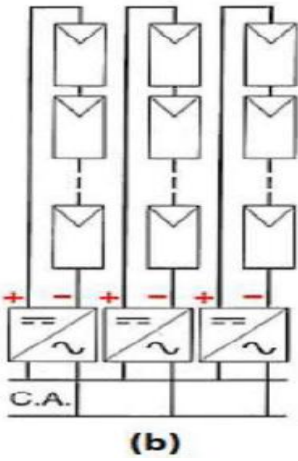
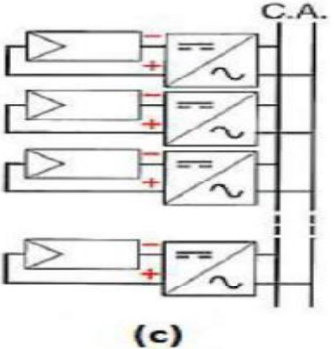
sincronizarse correctamente en relación con el voltaje y frecuencia requeridos, otra funcionalidad que tiene el inversor es el MPPT (seguidor de punto máximo de potencia), el cual es un dispositivo eléctrico que permite que módulo fotovoltaico opere en su punto máximo de potencia, sin tener la necesidad de desprestigiar o afectar a la carga instalada. Estos MPPT viene integrados alrededor de uno o más en un inversor. El inversor debe protegerse ya sea contra sobre voltajes, cortocircuitos y frecuencias alejadas al rango requerido. (Iza, 2020)

1.8.2.2 Configuración de conexión del inversor a red

Las configuraciones existentes de los inversores se encuentran ligado al conexionado de los paneles solares como se observa en la Tabla 1.3.

TABLA 1. 3
CONFIGURACIÓN DEL INVERSOR A RED

Configuración	Descripción
 <p>(a)</p>	<p>En Figura (a) se indica una configuración de modelo central que contiene un inversor generalmente trifásico de alta frecuencia y de gran potencia, este tipo de configuraciones poseen una baja confiabilidad porque el sistema fotovoltaico dependerá de un solo inversor, en especial en lugares donde exista un porcentaje de sombras notable.</p>

 <p style="text-align: center;">(b)</p>	<p>La configuración que se muestra en la Figura (b) se le denomina tipo cadena, por lo general estos inversores son monofásico y se pueden dividir por secciones para su operación, aumentando la confiabilidad, otra ventaja adicional es que se puede instalar cerca de los paneles solares y ahorrar en el cableado.</p>
 <p style="text-align: center;">(c)</p>	<p>En la última configuración de la ilustración (c) se aprecia el sistema fotovoltaico tipo módulos, los inversores en este caso vienen integrados en los paneles y son sistemas de baja potencia, pero de mayor eficiencia.</p>

Fuente: (Iza, 2020)

1.8.3 Sistema de puesta a tierra

El principio del sistema puesta a tierra es cuidar y proteger a las personas y equipos eléctricos que se encuentren en contacto con la electricidad o tengan relación con ella, además de limitar o desviar los sobre voltajes y evitar los dos tipos de contacto que existen como es el contacto directo e indirecto. Al tener una conexión a tierra logramos una impedancia baja y provocamos un camino por donde se desviará las corrientes eléctricas de falla. (Franco, 2014)

1.8.3.1 Componentes de un Sistema de puesta a tierra

El flujo de la corriente de error es el punto de partida para la instalación de un sistema conectado a tierra, garantizando su desempeño. Al final depende la resistencia que se le dé al sistema para evitar tensiones elevadas. Los componentes que conforman las puestas a tierra se muestran en la Tabla 1.4.

TABLA 1. 4
ELEMENTOS PUESTA A TIERRA

Elemento	Descripción
Tomas de tierra	Dispositivo que permite la unión del circuito eléctrico y el terreno.
Electrodos	Componente metálico en conexión directa al terreno (varilla de cobre o malla).
Línea de enlace con tierra	Grupo de conductores que une los electrodos con el punto de tierra.
Punto de la puesta a tierra	Punto que se encuentra fuera del suelo que une la principal y el anillo.
Línea principal de tierra	Compuesta de conductores de cobre conectado a las derivaciones del sistema.
Derivaciones de línea principal de tierra	Conductores que unen los elementos de protección y la línea principal.
Conductores de protección	Cableado que une las masas de los equipos.

Fuente: (Franco, 2014)

1.8.4 Cableado

Los conductores o cableado tienen la función de transportar la electricidad de un punto a otro (generación-distribución) el dimensionamiento está determinado por la corriente y el voltaje que se suministra. (Gozalbes, 2015)

1.8.4.1 Conectividad Eléctrica

El sistema fotovoltaico al estar interconectado genera pérdidas en las uniones o conexiones en las diferentes partes que lo conforman ya sea de la parte de corriente alterna o el lado de la corriente continua. (Romero & Flores, 2019) Las secciones que se tiene mayor pérdida son las siguientes:

- Sección conectada a red

- Puntos de conexión en las protecciones del inversor
- Conexión interna del módulo
- Sección de módulos o paneles solares

1.8.5 Protecciones y elementos de maniobra

En la instalación de protecciones para los sistemas fotovoltaicos se debe tener en cuenta varios aspectos como: (CLAMPER, 2016)

- En la salida del circuito del sistema se tiene que incorporar un dispositivo contra las descargas atmosféricas misma que se accione con una tensión eléctrica mayor a 1.25.
- Si los conductores eléctricos del sistema fotovoltaico no se encuentran aterrizados, estos deben tener un dispositivo de protección.
- Los dispositivos de protección deben ubicarse físicamente en una caja y con el nombre de caja de desconexión como se muestra en la Figura 9.
- Se debe que aterrizar la caja desconexión, al igual que uno de conductores de la salida de los paneles solares y el otro debe colocarse un dispositivo contra las descargas atmosféricas.

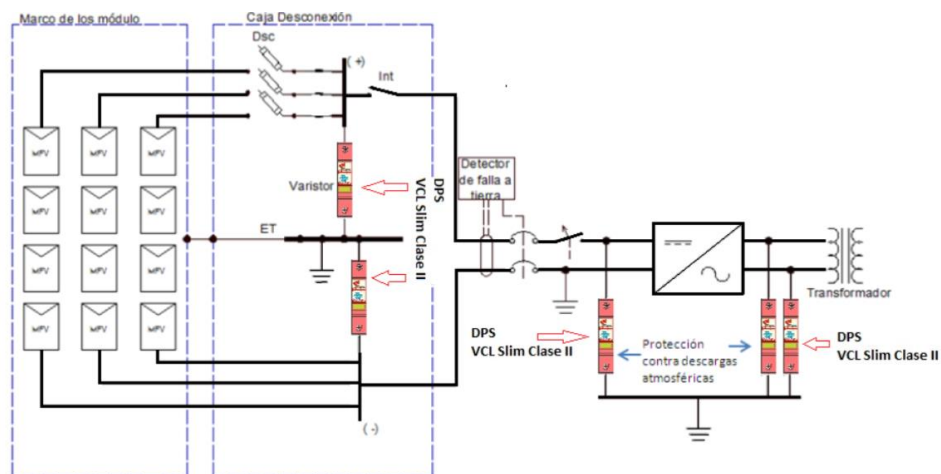


Fig. 9. Esquema de protecciones

Fuente: (CLAMPER, 2016)

1.8.6 Medidor bidireccional

Al igual que un medidor convencional el medidor bidireccional tiene la funcionalidad de medir la energía en kWh que circula por la red eléctrica, pero con dos principales diferencias.

- El primero presenta lecturas de energía eléctrica suministrada la red convencional y segundo entrega lecturas de la generación de un sistema fotovoltaico.

- La segunda diferencia es que el medidor bidireccional indica si se está inyectando o consumiendo electricidad, lo que el medidor convencional no (VOLT, 2016), un modelo se puede observar en la Figura 10.



Fig. 10. Medidor Bidireccional Ltrón Sentinel

Fuente: (Cruceira, 2019)

1.9 Normativa Ecuatoriana

Toda planta fotovoltaica instalada o diseñada es direccionada en base a la norma impuesta por cada país con la finalidad de precautelar la seguridad y el correcto funcionamiento de la red eléctrica, además de proteger la integridad de los operadores y usuarios. La normativa que rige en el Ecuador y la cual se consideró para el proyecto es la regulación ARCONEL 003-18, donde, se indica los requisitos técnicos para la generación fotovoltaica con autoabastecimiento que operen en sincronismos con la red, con una capacidad nominal de 100 kW a nivel residencial, instaladas o ubicadas en superficies de edificaciones o viviendas. (ARCONEL, 2018), del mismo modo son considerados las siguientes aplicaciones:

- Establecimientos comerciales públicos o privados
- Instalación de bombeo de agua
- Entidades públicas o privadas
- Entidades Oficiales
- Edificaciones religiosas
- Espacios deportivos

De una forma gráfica en la Figura 11 se puede observar la conexión y las partes físicas del sistema fotovoltaico.

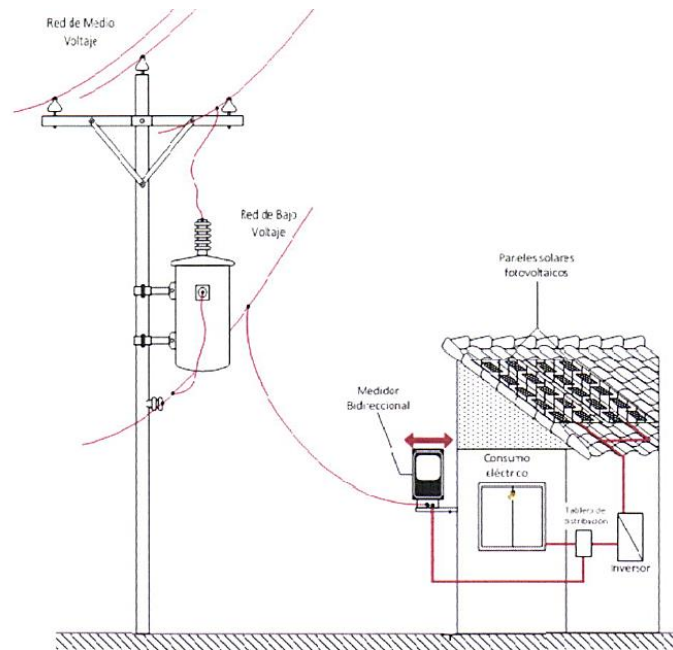


Fig. 11. Esquema de conexión a la red
Fuente: (ARCONEL, 2018)

CAPÍTULO II

Diseño del sistema de generación fotovoltaica con conexión a red

2.1 Introducción

El aumento de la demanda energética a nivel mundial se ha convertido en el factor principal para la creación de nuevas fuentes de generación, provocando, que se erosione áreas naturales y en consecuencia se destruya el medio ambiente. Por lo que el presente trabajo tiene como principio el diseñar un sistema de generación fotovoltaica conectado a la red en una zona urbana.

Para el diseño del sistema de generación eléctrica se partió de la energía solar disponible en la ciudad de Ibarra, es decir, la radiación solar aprovechable. Este valor se encuentra disponible en el mapa solar del Ecuador 2019, y fue utilizado para determinar los parámetros de cada dispositivo que conforma el sistema solar fotovoltaico conectado a red (paneles, inversor, protecciones, etc.), en conjunto con el consumo energético diario del supermercado “Mi rey”.

2.2 Metodología para el diseño del sistema de generación fotovoltaica

En este capítulo se presenta el diseño del generador fotovoltaico con conexión a red, para ello se empleó una metodología con el objetivo de proporcionar y explicar la estructura del proyecto. El primero es el método analítico, el cual se encarga en descomponer en partes el generador fotovoltaico para estudiar la constitución de cada uno de estos. El segundo el inductivo encargado de proporcionar los resultados basándose en el análisis realizado y por último el método deductivo utilizado para dar las conclusiones en función a todo el estudio realizado. El diagrama de flujo que se muestra en la Figura 12 presenta la metodología para el diseño del sistema de generación fotovoltaica con sincronización a la red.

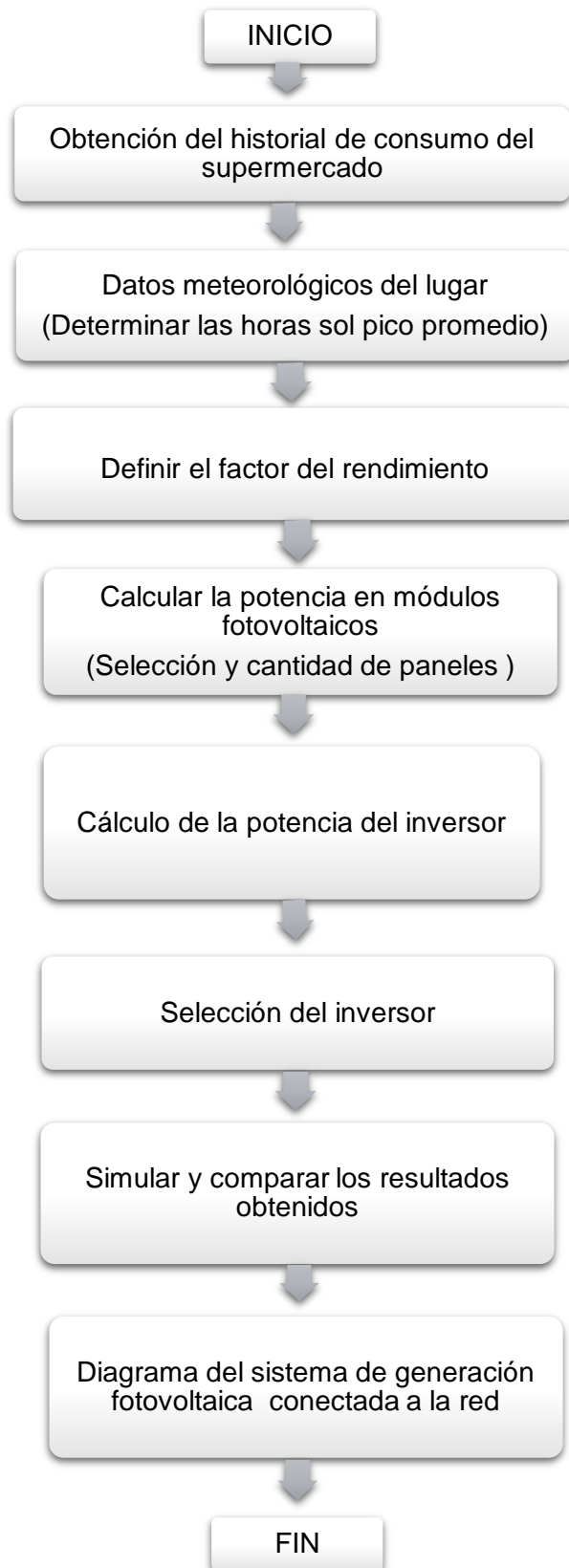


Fig. 12. Estructura de desarrollo del generador fotovoltaico
Fuente: Autor

2.3 Formulación de parámetros matemáticos

- **Potencia de consumo diario**

Basándose en a la Ec. 1 se puede determinar la potencia diaria de consumo del supermercado. (Cucó, 2020)

$$Pd = \frac{Pp}{Nd} \quad (1)$$

Donde:

Pd= la potencia diaria [W]

Pp= potencia establecida (promedio mensual) [W]

Nd= número de días del mes

- **Potencia fotovoltaica**

Para determinar la potencia fotovoltaica que requiere el sistema de generación eléctrica se utiliza la siguiente Ec. 2 (Energy, 2020):

$$P_f = \frac{Ed}{HSP * PR} \quad (2)$$

Donde:

P_f = potencia fotovoltaica requerida [Wp]

HSP= hora de sol pico en el supermercado [$Wh/m^2/día$]

Ed= consumo diario [Wh]

PR= factor rendimiento

- **Número de módulos fotovoltaicos**

La cantidad de módulos a utilizar en sistema de generación fotovoltaica con conexión a red se determina mediante la Ec. 3. (Tobajas, 2018)

$$Np = \frac{P_f}{P_0} \quad (3)$$

Donde:

P_f = potencia fotovoltaica [Wp]

P_0 = potencia del panel solar [W]

N_p = número de paneles

- **Potencia inversora con conexión a red**

El inversor a utilizar en la investigación es definido por la potencia fotovoltaica y un factor de seguridad, como se muestra a continuación en la Ec. 4 (Burdick & Schmidt, 2017).

$$P_{inversor} = 1.15 * P_{fotovoltaica} \quad (4)$$

Donde:

$P_{inversor}$ = potencia del inversor [W]

$P_{fotovoltaica}$ = potencia fotovoltaica [Wp]

Factor de seguridad = 1.15

- **Paneles en serie**

La cantidad máxima de módulos a conectar en serie está especificada por la Ec. 5 presentada a continuación. (Espitia C. , 2017)

$$N_{serie\ max} = \frac{V_{in,max}}{V_{oc}} \quad (5)$$

Donde:

$N_{serie\ max}$ = número máximo de paneles en serie

$V_{in,max}$ = voltaje máximo de entrada del inversor [V]

V_{oc} = voltaje de circuito abierto del panel solar [V]

- **Paneles en paralelo**

Para calcular la máxima cantidad módulos conectados en paralelo se aplica la siguiente Ec.6. (Raboso Lopez, 2013)

$$N_{\text{paralelo max 1}} = \frac{I_{in, max}}{I_{0C}} \quad (6)$$

Donde:

$N_{\text{paralelo max}}$ = número máximo de paneles en paralelo

$I_{in, max}$ = corriente máxima del MPPT [A]

I_{0C} = corriente de corto circuito del panel [A]

- **Coeficiente de inclinación**

Para obtener una mayor captación de radiación solar se debe encontrar el coeficiente de inclinación ideal de un panel. Esto se realiza por medio de la Ec. 7. (Style, 2012)

$$\beta_{opt} = \pm 10 + \phi \quad (7)$$

Donde:

β_{opt} = coeficiente de inclinación ideal

ϕ = latitud del lugar

± 10 = invierno o verano

- **Calibre de los conductores**

El calibre del conductor se encuentra en función de los datos de operación del sistema de generación fotovoltaico y de un factor de seguridad como se muestra en la Ec. 8 y la Ec. 9 (Levy, 2020)

$$I = 1.25 * I_{inicial} \quad (8)$$

$$S \geq 100 * \frac{\rho * I * L}{V} \quad (9)$$

Donde:

S = sección del conductor

ρ = resistividad de CU a 20 °C en [Ωmm^2].

I = corriente [A].

L = longitud [m].

V = voltaje [v].

- **Variación de voltaje**

Para encontrar la caída de tensión que existe en los conductores se utiliza la Ec. 10 y para verificar el porcentaje de la variación de voltaje se utiliza la Ec. 11 (Queijo, 2018)

$$\Delta V = 2 * \frac{\rho * I * L}{S} \quad (10)$$

$$\Delta V = \frac{\Delta V}{V} * 100 \quad (11)$$

Donde:

ΔV = variación de voltaje

V = voltaje de operación

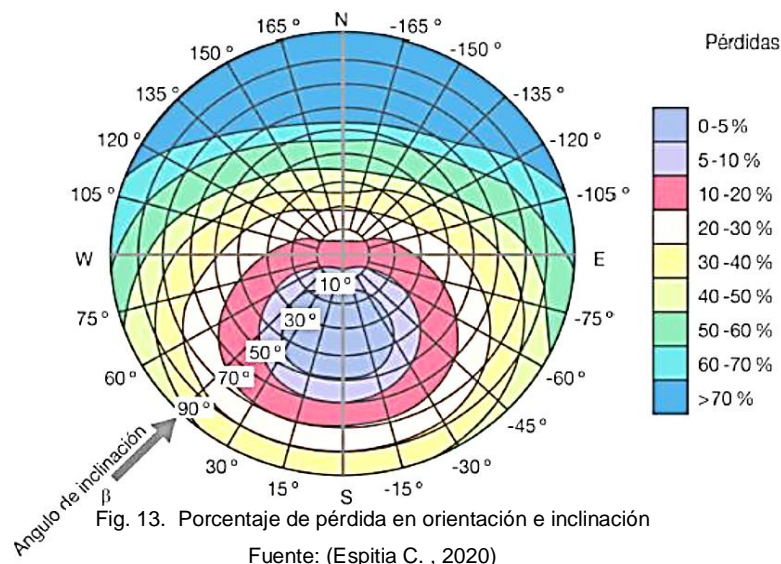
ρ = resistividad de CU a 20°C en [Ωmm^2].

I = corriente [A].

L = longitud [m].

- **Pérdidas por orientación e inclinación**

El porcentaje de pérdidas con respecto a la orientación e inclinación se determinan basándose en la Figura 13 (Espitia C. , 2020) y a la Ec. 12. (Perpiñan, 2020)



$$\text{Perdidas (\%)} = 100 * [1.2 * 10^{-4} * (\beta - \phi)^2] \text{ para } \beta \leq 15^\circ$$

$$\text{Perdidas (\%)} = 100 * [1.2 * 10^{-4} * (\beta - \phi + 10)^2 + 3.5 * 10^{-5} * \alpha^2] \text{ para } \beta > 15^\circ \quad (12)$$

Donde:

β =ángulo de inclinación

ϕ =latitud

α = acimut

- **Separación de paneles**

Para establecer la separación mínima que se debe tener entre paneles se aplica la Ec. 13 para poder utilizar en la Ec. 14. (Tobajas, 2018)

$$H_{min} = (90^\circ - \phi) - 23^\circ \quad (13)$$

$$D_{min} = B * \cos \beta + \frac{B * \sin \beta}{\tan \alpha_{min}} \quad (14)$$

Donde:

H_{min} = altura solar mínima

ϕ = latitud del lugar

B = altura del panel

D_{min} =distancia mínima

β =ángulo de inclinación

$\alpha_{min} = 23^\circ$ = declinación solar en diciembre

- **Protecciones para corriente directa y continua**

Las protecciones que necesita la planta fotovoltaica en corriente continua se establecen por medio de la Ec. 15, y para la sección en corriente directa se realizó mediante la Ec.16. (Fernández, 2016)

$$I = 1.25 * I_{inicial} \quad (15)$$

$$I = 1.25 * \frac{P}{\sqrt{3} \cdot UL \cdot \cos\varphi} \quad (16)$$

Donde

I = corriente del sistema

UL = voltaje

$\cos\varphi$ = factor de potencia

1.25 = factor de seguridad

P = potencia del sistema

2.4 Descripción del lugar de estudio

El cantón Ibarra se encuentra ubicado geográficamente en la zona norte del Ecuador, específicamente en región interandina. Esta ciudad al encontrarse en una zona elevada es idónea para la generación eléctrica mediante la recepción de radiación solar, en la Tabla 2.1 se observa los datos geográficos de la ciudad.

TABLA 2. 1

DATOS GEOGRÁFICOS

Información geográfica	
Latitud	0.3423°
Longitud	-78. 1213°
Altitud	2215 m.s.n.m.
Temperatura	14 °C a 25 °C

Fuente: (NASA POWER., 2020)

- **Ubicación del lugar**

El sistema de generación fotovoltaica con conexión a red que se diseñó será instalado en el supermercado “mi REY” mismo que se encuentra ubicado entre las calles; Av. Teodoro Gómez de la Torre y Sánchez y Cifuentes. Como se muestra en la Figura 14.



Fig. 14. Ubicación física del supermercado

Fuente: (Google, 2020)

- **Diagrama de edificación y área disponible de instalación**

La edificación del supermercado donde se instalará el generador solar fotovoltaico conectado a red está compuesta de una estructura de hormigón armado y una cubierta metálica como se observa en la Figura 14. Además, internamente su distribución consta de tres niveles; en la planta baja se realiza la actividad comercial (venta y exhibición de producto), en la primera planta está destinado para almacenamiento de producto y exhibición, por último, la segunda planta utilizada como bodega y oficinas administrativas

En la Figura 15 se puede apreciar las dimensiones y la infra estructura interna del segundo piso, además del área con la que se dispone para la instalación de los paneles. Cabe mencionar que el sistema de generación fotovoltaica conectado a red se ubicará en la estructura metálica que tiene el supermercado como techado.

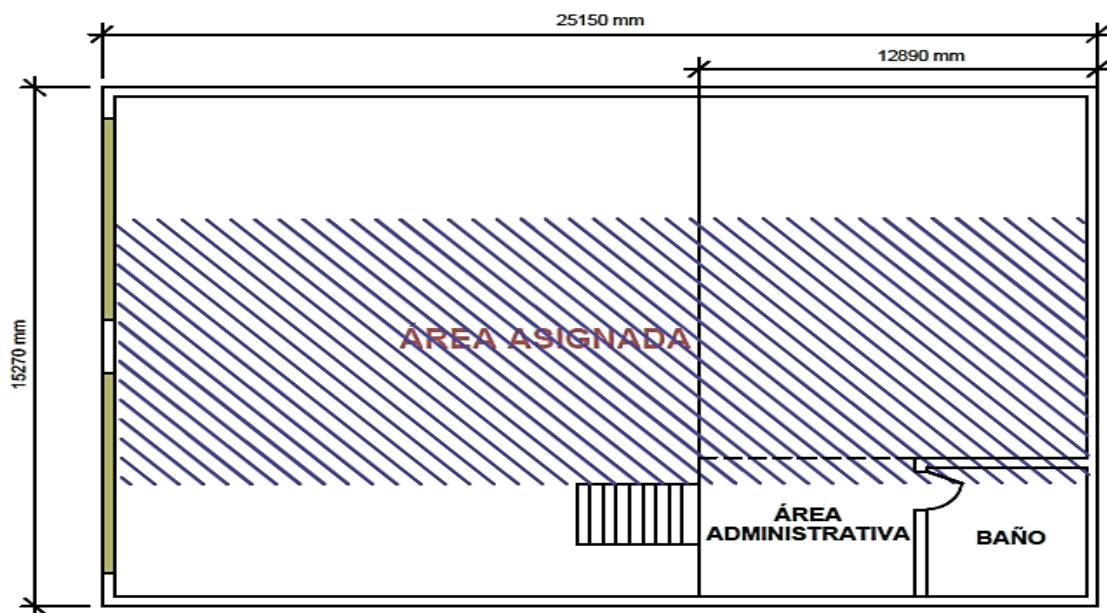


Fig. 15. Diagrama de edificación y área de instalación, segunda planta

Fuente: Autor

2.5 Comportamiento de la carga

La funcionalidad y comercialización en el edificio depende en su mayoría del servicio eléctrico debido a que los equipos electrónicos (cámaras, registradoras, frigoríficos, etc.) que tiene el supermercado funcionan con esta. Por lo que, al estar conectados a la red generan un consumo. Para entender su comportamiento, se instaló un analizador de red trifásico de la marca Chauvin Arnoux modelo 8335 (Arqui & Vallejo, 2019), mismo que tendrá un periodo de recolección de datos entre lunes hasta domingo, cumpliéndose así 7 días laborables. Para los días de lunes a viernes el comportamiento de la demanda se muestra en la Figura 16.

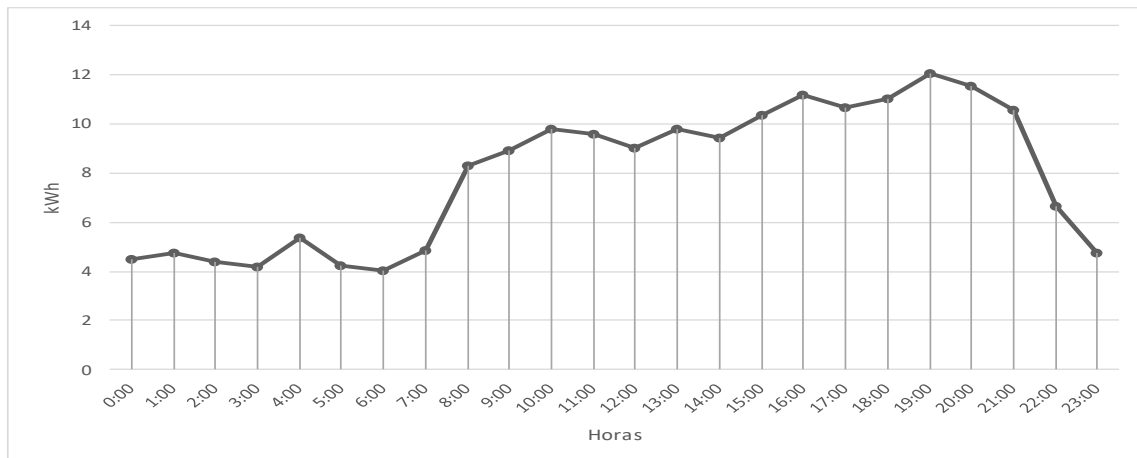


Fig. 16. Curva de demanda promedio del supermercado "mi REY" (lunes a viernes)

Fuente: Autor

Como se puede ver en la gráfica 16 se tiene un aumento de potencia desde las 7 de la mañana hasta las 10 de noche, horas que corresponden a las horas de trabajo del supermercado en un promedio de lunes a viernes. De igual forma para los fines de semana se tiene un comportamiento similar, ilustrado en la Figura 17, esto hace referencia a que el edificio tiene el mismo horario de operación para todos los días de la semana y en

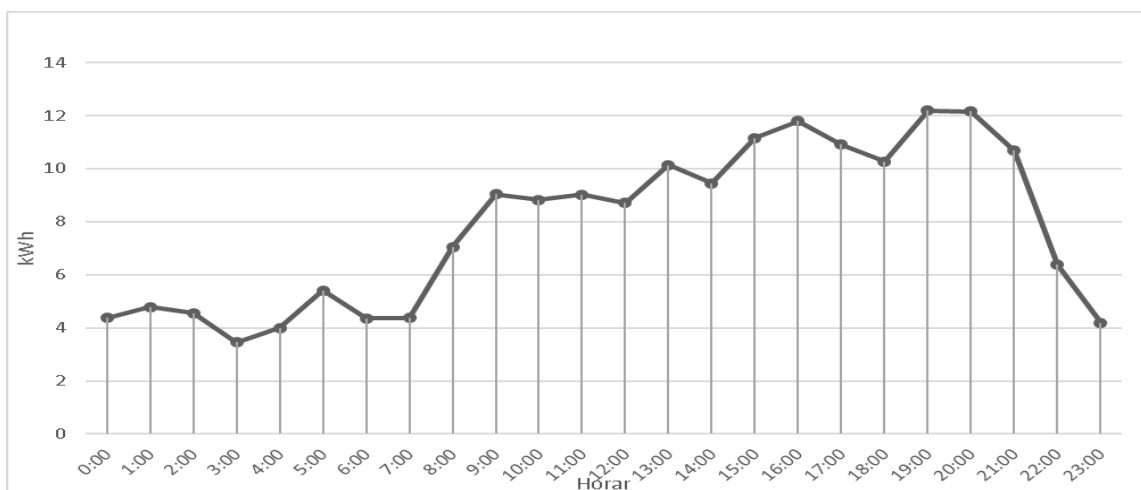


Fig. 17. Curva de demanda promedio del supermercado "mi REY" para fines de semana

Fuente: Autor

consecuencia para el comportamiento de la carga se le puede determinar un único promedio para el desarrollo del sistema.

Es por ello que se presenta la Figura 18 en la cual se muestra la conducta de la energía consumida diariamente de la edificación, dando como resultado un consumo total de 190.94 kWh al día. En anexo A se encuentra los datos obtenidos por el analizador para cada día de la semana.

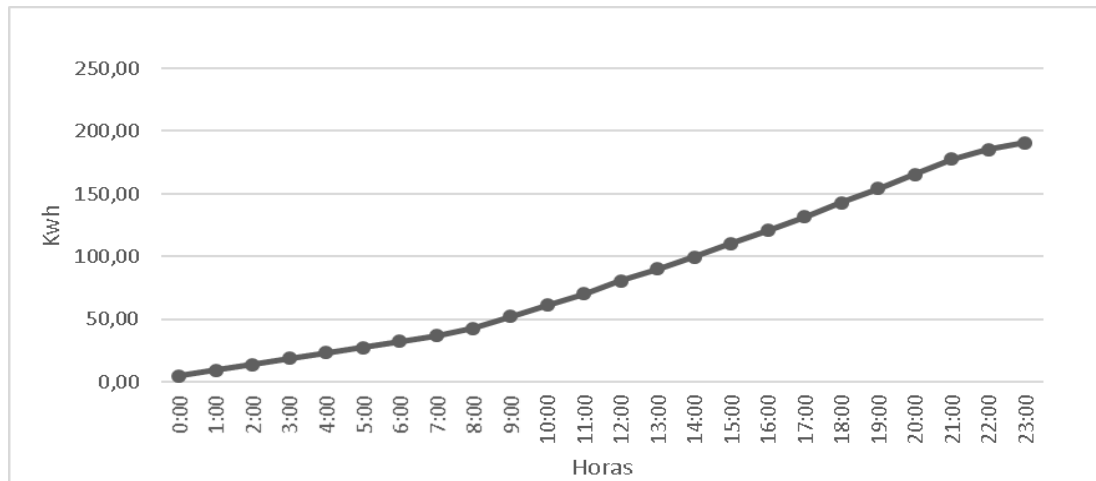


Fig. 18. Energía consumida diaria del supermercado

Fuente: Autor

2.6 Cálculo de los parámetros

A continuación, se desarrolló los cálculos de los parámetros necesarios para determinar la potencia del generador fotovoltaico.

2.6.1 Determinación de potencia diaria del sistema fotovoltaico

El punto de partida para el diseño del sistema de generación solar fotovoltaico conectado a red, es determinar el porcentaje o cantidad de energía a suplir a partir de la demanda de la carga, para ello se pondera un valor seleccionado por el usuario y se procede a realizar el estudio.

De una manera gráfica en la Figura 19 se muestra el historial de consumo del supermercado “mi REY”, en él se observa los valores de consumo mensual del año 2020 en color azul y del año 2019 en color verde, Además se aprecia un considerable aumento de consumo energético del 2019 al 2020.

La razón del incremento se debe a la ampliación del edificio. Por lo que se seleccionaron los datos del año 2020 para el estudio, a partir de esto se realizó un promedio, como se observa en la Tabla 2.2. Se debe destacar que no se ha considerado el mes de mayo de 2020 debido a que el valor de consumo no es acorde a los otros meses, porque en este mes no se trabajó de manera ordinaria. Pudiendo afectar en el dimensionamiento del sistema de generación fotovoltaica, por lo que se consideró para este valor el mismo que en junio.

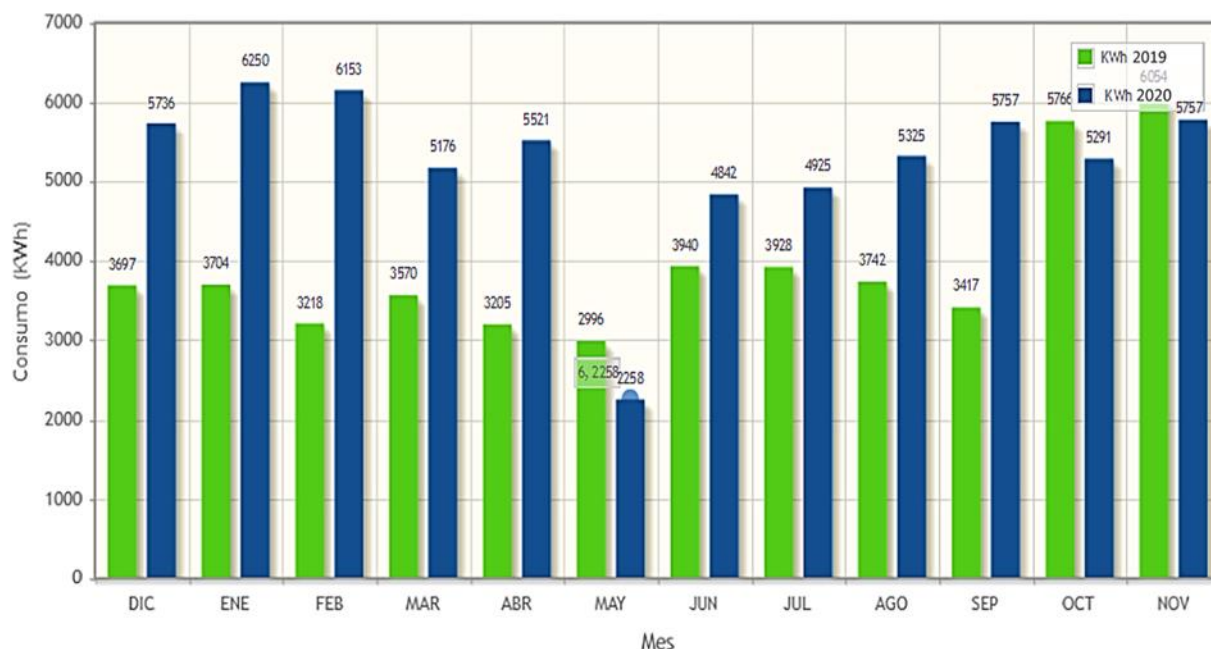


Fig. 19. Historial de consumo mensual del supermercado
Fuente: (Emelnorte, 2020)

El promedio obtenido es de 5 464.5 kWh de consumo energético mensual, a partir de este resultado se procede a determinar un porcentaje del 25% a suministrar por energía fotovoltaica, en otras palabras, se pretende remplazar 1 366 kWh del valor inicial. A continuación, se aplica la Ec.1 para encontrar el consumo diario del supermercado.

$$Pd = \frac{1\,366\text{kWh}}{30} = 45.5\text{ kWh}$$

TABLA 2. 2
PROMEDIO MENSUAL DE CONSUMO

MES	CONSUMO (kWh)
Enero	6250

Febrero	6153
Marzo	5176
Abril	5521
Mayo	4842
Junio	4842
Julio	4925
Agosto	5325
Septiembre	5757
Octubre	5291
Noviembre	5757
Diciembre	5736
PROMEDIO	5464.5

Fuente: Autor

2.6.2 Determinación de las Horas solar pico

Para determinar la hora solar pico (HSP) de irradiación kWh/m^2 incidente en el supermercado se analizó los antecedentes y referencias semejantes al sector, uno de ellos es el mapa solar del Ecuador donde se encuentra la irradiación solar que el país recibe al año.

En la Tabla 2.3 se muestran la irradiación solar global horizontal que recibe la provincia de Imbabura según el atlas del Ecuador, donde se puede observar que desde enero a mayo correspondiente a la época húmeda se encuentran los valores más bajos y de junio a diciembre los valores más altos correspondientes a la época seca. (Vaca & Ordoñez, 2019), Además, se observa datos obtenidos por CELEC EP estos últimos se encuentran de una forma dispersa porque se tomó en cuenta la altitud (Guerrero & Leon , 2018) .

Con el fin de generalizar los datos presentados se procedió a realizar un promedio para cada caso, obteniendo que, para el primero se tiene un valor de $4.9 kWh/m^2/día$ y para el segundo se encontró un resultado de $4.75 kWh/m^2/día$. En este sentido, se obtuvo un porcentaje de error de 4.1% que no representa una variación considerable.

Para el diseño del sistema de generación fotovoltaica se puede utilizar cualquiera de los dos valores, pero con el objetivo de tener un diseño más equilibrado, se procedió a escoger un promedio entre estos dos, el cual es de $4.85 kWh/m^2/día$.

TABLA 2. 3

IRRADIACIÓN SOLAR EN IMBABURA E IBARRA

MES	MAPA SOLAR DE E. ($kWh/m^2/día$)	CELEC EP ($kWh/m^2/día$)
ENERO	4.2	4.96
FEBRERO	3	3.75
MARZO	4.8	3.41
ABRIL	3.6	4.03
MAYO	3.6	4,78
JUNIO	5.4	5
JULIO	6	564
AGOSTO	6	5.73
SEPTIEMBRE	6	4.95
OCTUBRE	5.4	4.88
NOVIEMBRE	5.4	4.83
DICIEMBRE	6	5
PROMEDIO	4.95	4.75

Fuente: Autor

2.6.3 Determinación del factor de rendimiento

Para determinar el factor de rendimiento del generador fotovoltaico con conexión a red, idealmente se debe relacionar la energía real producida con la energía calculada, tomando en consideración que el valor producido es anual. Pero al no existir un generador real, se recomienda utilizar valores similares a otros generadores ya implementados, obteniendo que, para el diseño de la planta fotovoltaica se recomienda utilizar valores entre 0.7 a 0.85 (SMA, 2020). Para el estudio se tomó el de menor valor con el fin de presentar un resultado más admisible (Energy, 2020).

2.7 Cálculo de los parámetros y componentes del sistema

Los parámetros que rigen el comportamiento del sistema, además de definir o establecen los componentes son la base de la investigación teniendo en consideración que parten de las características deseadas por el usuario.

2.7.1 Potencia fotovoltaica

La potencia fotovoltaica que requiere la planta fotovoltaica depende de la potencia diaria, las horas pico y del factor del rendimiento, con base en esto se procedió aplicar la Ec. 2.

$$P_f = \frac{45.5 \text{ kWh}}{4.85 * 0.7} = 13.4 \text{ kWp} = 13402 \text{ Wp}$$

Como se mencionó anteriormente la potencia diaria de 45.5 kWh se obtiene del historial de consumo del supermercado “mi REY”, de forma similar se obtuvo un valor medio ponderado de 4.85 horas pico obtenido de fuentes ya expuestas en el apartado 2.6.2 y un factor de rendimiento del 0.7 que se seleccionó para el diseño. Por lo tanto, la potencia obtenida es de 13402 Wp.

2.7.2 Cálculo del número de paneles fotovoltaicos

El número de módulos utilizados se obtuvo al dividir la potencia fotovoltaica requerida con la potencia del panel a utilizado, como se observa en la Ec. 3.

$$N_p = \frac{13402 \text{ Wp}}{400 \text{ Wp}} = 33.5 \approx 34$$

Con base en el cálculo anterior se pudo determinar que son necesarios 34 paneles para suplir la potencia fotovoltaica requerida, considerando que el módulo seleccionado es de 400W tipo monocristalino de 72 celdas, con un voltaje en punto de máxima potencia de 41.5 V y una corriente de 9.73 A. En el anexo B se muestran las características del panel solar.

$$P_f = 400 \text{ W} * 34 = 13600 \text{ Wp}$$

Ahora bien, se tuvo que recalcular con los 34 paneles la potencia nominal del generador fotovoltaico P_f , con la finalidad de obtener un resultado más preciso. Este valor ayuda a continuación para la configuración y distribución de los paneles.

2.7.3 Selección y dimensionamiento del inversor con conexión a red

El inversor conectado a red se dimensionó en función a la potencia fotovoltaica instalada y el factor de seguridad del 15%, como se indica en la Ec. 4.

$$P_{inversor} = 1.15 * 13600 \text{ Wp} = 15640.3 [\text{W}]$$

Tomando como base el cálculo anterior se determinó que la potencia de operación del inversor es de 15.6 kW.

Se seleccionó el inversor Growatt 15000 TL3-S, debido a que cuenta con un rango de potencia de 15 a 18 kW, además satisface las necesidades del sistema al ser un inversor trifásico que se puede conectar a la red, En el anexo C se detallan las características principales del inversor.

2.8 Determinación del conexionado de los paneles solares

La cantidad de conexiones en serie o en paralelo se determinó con base en la capacidad del inversor y sus características.

2.8.1 Paneles en serie

Con el fin de conocer el límite o la cantidad máxima de paneles a conectar en serie, se procedió a aplicar una división entre el voltaje máximo del inversor y el voltaje de circuito abierto del panel, descrito en la Ec.5.

$$N_{serie\ max} = \frac{1000\ V}{50\ V} = 20$$

Por lo tanto, la cantidad máxima de paneles en serie es de 20 unidades por MPPT, es decir el sistema de generación fotovoltaica puede tener un número máximo de 40 módulos porque el inversor cuenta con 2 MPPT. Entonces, partiendo de este resultado se determinó que los 34 paneles se ajustan al cálculo realizado anteriormente.

2.8.2 Paneles en paralelo

Los paneles en paralelo se calcularon de forma similar a los paneles en serie con la diferencia que, en este caso dividió la corriente máxima de cada MPPT inversor sobre la corriente de cortocircuito del panel solar, es decir se aplicó la Ec. 6.

$$N_{paralelo\ max\ 1} = \frac{20\ A}{10.26\ A} = 1.9$$

$$N_{paralelo\ max\ 2} = \frac{I_{in,\ max}}{I_{oc}} = \frac{10\ A}{10.26\ A} = 0.97$$

Como se puede observar en la operación que se realizó en la parte superior, el número máximo de módulos que se pueden conectar en paralelo según el MPPT1 es de 1.9 y en el MPPT2 de 0.9, dicho de otro modo, en esta planta fotovoltaica no es posible conectar estos paneles en paralelo porque la corriente que entregan los módulos es mayor a la corriente que tolera el inversor.

2.9 Determinación de la orientación de los módulos

Anteriormente se mencionó que, geográficamente la ubicación del sistema fotovoltaico se encuentra en la latitud 0.342 en dirección al norte y la longitud -78.121 en dirección al oeste, indicado en la Tabla 2.1, de modo que, se estableció ubicar los módulos en dirección al sur (azimut de 180°) porque el sol se traslada del este al oeste, entonces se puede obtener una máxima captación al medio día. (Cruz, 2015)

2.10 Determinación del coeficiente de inclinación

El coeficiente de inclinación para un panel solar se determinó mediante la Ec.7 donde indica, que la sumatoria entre la latitud del lugar y ± 10 grados da como resultado el grado de inclinación óptimo.

$$\beta_{opt}=10\pm 0.34$$

$$\beta_{opt}=10.34^{\circ}$$

Como se mencionó anteriormente el ángulo inclinación depende de la ubicación geográfica del lugar de estudio, por lo cual se recomienda sumar ± 10 grados si se encuentran en la línea ecuatorial (latitud cero) (Cantos, 2016). Es por esta razón que el resultado obtenido es de 10.34°, no obstante, la inclinación sugerida es de 15 grados para facilitar la caída escombros o de lluvia (Perpiñan, 2020), pero el ángulo que se impuso a los paneles es de 18.4° porque este es grado de inclinación del techado del edificio (estructura metálica).

2.11 Determinación de la separación entre paneles

El aprovechamiento máximo de los paneles dependerá de la correcta incidencia de radiación solar sobre la superficie del módulo, por lo cual no debe existir cuerpos o elementos

que provoquen sombras incluyendo las que tiene los paneles adyacentes. En este sentido, se procedió a calcular la distancia de separación entre paneles utilizando la Ec. 13 y 14.

$$H_{min} = (90^\circ - 0.34) - 23^\circ$$

$$H_{min} = 66.6^\circ$$

$$D_{min} = 2.008 * \cos 18.4 + \frac{2.008 * \operatorname{sen} 18.4}{\operatorname{tg} 66.6} = 2.18 \text{ m}$$

Para planta fotovoltaica se tomó la declinación solar más desfavorable de todo el año, el cual es de -23° correspondiente al mes de diciembre, obteniendo la altura solar mínima al medio día. En relación con el cálculo se determinó que la distancia entre los paneles se debe tener un mínimo de 2.18 m como se observa en la Figura 20.

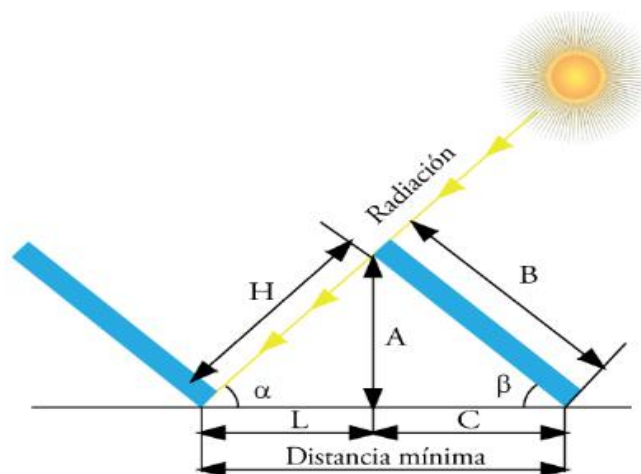


Fig. 20. Distancia mínima entre paneles fotovoltaicos

Fuente (Tobajas, 2018)

2.12 Obtención de las pérdidas por orientación

El porcentaje de pérdida por orientación se pudo determinar por medio del gráfico de la Figura 13, para esto fue necesario conocer la inclinación de los paneles y el acimut de este. (orientación) (Tobajas, 2018)

La orientación de los módulos de la planta fotovoltaica diseñada se asignó en una orientación norte-sur a 20 grados y con una inclinación de 18.4° . Con base en la Ec.12 se pudo establecer cuál es porcentaje de pérdidas estimada.

$$\text{Perdidas (\%)} = 100 * [1.2 * 10^{-4} * (10.34 - 0.34 + 10)^2]$$

$$\text{Perdidas (\%)} = 4.8\%$$

$$\text{Perdidas}(\%) = 100 * [1.2 * 10^{-4} * (18.4 - 0.34 + 10)^2 + 3.5 * 10^{-5} * 20^2]$$

$$\text{Perdidas}(\%) = 10.8\%$$

Como se observa en la parte superior se analiza dos eventos, por un lado, se tiene una inclinación ideal de cero grados al sur y una inclinación de 10.34°, y por otro lado los datos establecidos por el edificio. Dando como resultado una pérdida del 4.8% para el primer caso y 10.8% para el segundo.

Observando el cálculo se encuentra que el porcentaje de pérdida se elevó al aumentar el grado de inclinación e incluir el acimut de 20°, por lo tanto, es recomendable utilizar el primer resultado de 4.8%, pero al estar con una imposición inclinada de 18.4 grados provocados por la estructura metálica de la edificación las pérdidas aumentan un 6% por lo tanto se planteó utilizar el último valor.

2.13 Distribución de paneles

Para la distribución de los paneles solares se tomó en cuenta la orientación y el área disponible del supermercado, además de otros factores como sombras o algún cuerpo que obstruya con la radiación sobre la superficie del módulo. Por lo tanto, se optó por ubicar los paneles en la parte superior del edificio compuesta de una cubierta estructura metálica.

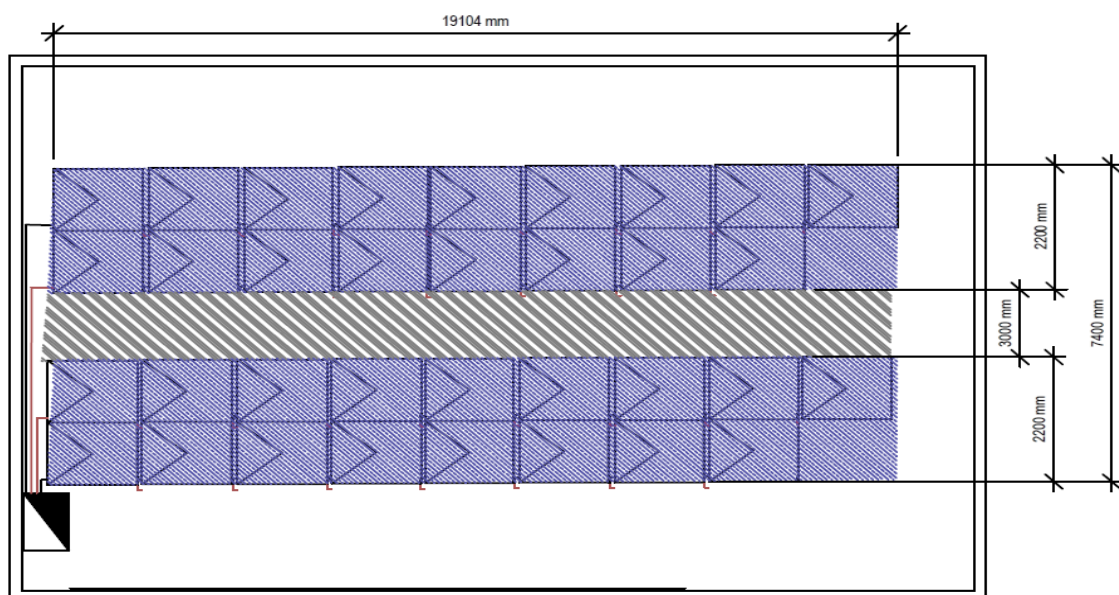


Fig. 21. Diagrama de edificación y área de instalación, segunda planta

Fuente: Autor


Los 34 paneles que componen el sistema fotovoltaico se dividieron en dos bloques, como se indica en la Figura 21, el primero bloque se colocó en la parte izquierda del techado y el bloque dos en la parte derecha. Cada sección de paneles consta de 17 módulos conectados en serie.

2.14 Estructura soporte

Como se mencionó anteriormente se dispuso a ubicar los paneles solares en la parte superior del supermercado, por cuanto, es necesario tener una estructura de soporte donde montarlo, para el proyecto se procedió a utilizar el ilustrado en la Tabla 2.4.

En este se caracteriza el tipo de paneles que soporta además del método que estos son sujetos al techado del edificio y por último la disposición horizontal de los módulos para poder cumplir con lo estipulado en la sección “pérdidas por orientación”.

TABLA 2. 4
CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA

Estructura coplanar para techado metálica tipo sándwich	
Anclaje de chapa, tornillos de anclaje autoroscantes	
Para módulos de 60 o 72 celdas (1650/2000x1000)	
Espesor del módulo de 33 a 50 mm	
Disposición de módulos horizontal	

Fuente: (AMM.Capital, 2021)

Editado por el autor

2.15 Dimensionamiento de los conductores

Para determinar el calibre del conductor se partió de los datos entregados por el fabricante, principalmente del valor de la corriente porque de este depende la sección del conductor. Po que mediante la Ec. 8 se obtuvo una corriente de 12.16 A con un factor de seguridad del 25 %.

$$I = 1.25 * 9.37A = 12.16A$$

El dimensionamiento de los conductores se encuentra limitado por una caída de tensión o variación voltaje $\leq 2\%$ y mediante la Ec.9 se comprobó esta condición.

$$S \geq 100 * \frac{0.0172 \Omega mm^2 * 12.16A * 58m}{699.55 V} 1.73 = mm^2$$

Este es el caso de la sección paneles solares - interruptor magnético donde se indicó que se puede utilizar un conductor con una sección mayor o igual a $1.73 mm^2$. La tabla del anexo D se encuentran las características de los conductores a temperaturas ambientales de 30° .

Con la ayuda de esta tabla se determinó que el calibre ideal es 12 AWG, La forma de comprobar que se cumple con una caída de tensión de $\leq 2\%$, es por medio de la Ec.10 y la Ec. 11.

$$\Delta V = 2 * \frac{\rho * I * L}{S} \quad ; \quad \Delta V = \frac{\Delta V}{V} * 100$$

Siguiendo el método anterior se determinó el calibre de los conductores para cada sección de la planta fotovoltaica En la Tabla 2.5 se ilustra las características como: distancia, caída de voltaje, corriente que circula en el sistema, la resistencia del conductor, voltaje, resistividad y tolerancia.

TABLA 2. 5

DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES

Instalación	Cantidad	Tipo	Distancia [m]	Resistencia [Ω/m]	Corriente [A]	Voltaje [V]	ΔV %	Tolerancia
Bloque 1 — Disyuntor DC 1 — MPPT1	2 x 14 1 x 10	Concéntrico o RV-K 0.6/1KV	58	8.17	12.16	41.15	1.18	≤ 2
Bloque 2 — Disyuntor DC 2—MPPT2	2 x 14 1 x 10	Concéntrico o RV-K 0.6/1KV	36	8.17	12.16	41.15	0.7	≤ 2
Inversor – Disyuntor AC	4x10 1x10	AWG	1	5.26	44.39	230	1.38	≤ 2

Disyuntor								
AC – tablero	4x10	AWG	10	5.26	44.39	230	1.38	≤ 2
Principal	1x10							

Fuente: Autor

2.16 Cálculo de las protecciones en corriente continua y alterna

La protección del sistema de generación fotovoltaico tiene como objetivo cuidar los equipos ante descargas atmosféricas o sobre corrientes y al igual que proteger la integridad de las personas es por ello que se determinó las protecciones con base en los datos obtenidos por cálculos y por valores impartidos por los fabricantes, utilizando la Ec 15 se determinó la corriente que circula por el bloque 1 y bloque 2.

$$I = 1.25 * 9.73 = 12.16 A$$

Para la sección de los paneles al inversor (corriente continua), se estableció un fusible de 15 A, porque la corriente máxima que circula por los módulos fotovoltaicos es de 9.73 y con un factor de seguridad del 25 % se obtuvo como resultado 12.16 A. Tanto del bloque 1 como para el bloque 2. Del mismo modo se encontró la corriente en la sección de corriente alterna utilizando la Ec. 16.

$$I = \frac{15600 W}{\sqrt{3} \cdot 220 V \cdot 0.92} * 1.25 = 55.6 A$$

En la sección de inversor- medidor se propuso usar un disyuntor diferencial trifásico de 3 polos más neutro con denominación C63 con una sensibilidad 30 mA (corriente de falla a tierra), según la norma NEC-11. (ECP, 2020)

Con el fin de proteger el sistema de generación fotovoltaica conectado a red de corrientes de cortocircuito y de sobrecarga se seleccionó un disyuntor trifásico térmico de 60 A (disponible en el mercado), ya que por medio de la Ec. 16 se pudo determinar que la corriente obtenida es de 55.6 A.

2.17 Medidor bidireccional

El medidor bidireccional que utilizó es el MT-174 D2 de la marca Iskara, el cual tiene un rango de operación de 5 amperios a 120 A ideal para la corriente circulante del generador fotovoltaico de 55.6 amperios. En el anexo E se detallan las características del medidor.

2.18 Sistema de puesta a tierra

Para el sistema a tierra se planteó utilizar dos varillas Copperweld de 2 metros de longitud con anillos de sujeción de cobre desnudo. (Burdick & Schmidt, 2017) Uno de ellos se determinó conectar desde la parte metálica que conforma los paneles hasta el bastidor del inversor por medio de un conductor 10 AWG, en otras palabras, una varilla es para la sección de corriente directa y la otra para la corriente continua, el cual consta del medidor bidireccional a la armazón del transformador. Cabe mencionar que el calibre del conductor se estableció por la norma UNE 20.460-5-54 misma que es aplicable para conductores de protección. (Fernández, 2016)

2.19 Simulación

Para reafirmar los cálculos obtenidos se realizó una simulación con el software PVsyst, este pondera la generación de un sistema fotovoltaico utilizando datos satelitales de irradiación (PVsyst SA, 2020). En anexo F se muestra los diagramas de producción de 3 generadores (expuestos en el capítulo 3) con sus respectivas pérdidas según el simulador. En la Tabla 2.6 se observa la potencia específica y anual resultante del software y de los cálculos realizados.

TABLA 2. 6
GENERACIÓN CALCULADA Y SIMULADA

GENERADOR	RESULTADOS			
	ENERGÍA MENSUAL (kWh)		ENERGÍA ANUAL (MWh)	
	SIMULACIÓN	CÁLCULO	SIMULACIÓN	CÁLCULO
Monocristalino con estructura	1 396	1 339.71	18.9	16.07
Policristalino fijo	1 241	1 255.27	16.8	15.06
Monocristalino fijo	1 297	1 255.27	16.7	15.06

Fuente: Autor

En la sección de potencia específica, los resultados en la parte de simulación y cálculos no tiene mayor variabilidad, pero en la potencia anual si, esto es debido a que la base de datos meteorológicos del simulador es diferente a los que se tomó para el diseño. En este sentido en la simulación la potencia anual presenta valores más alentadores para la investigación, pero para conseguir resultado acorde al diseño se toman valores del cálculo.

2.20 Diagrama unifilar del generador fotovoltaico conectado a la red

Finalmente, al determinar los elementos del sistema al igual que sus parámetros y especificaciones técnicas se procedió a modelar un diagrama del conexionado de cada uno de los equipos, por medio del software AutoCAD (Autodesk Inc, 2020), (Ver anexo G).

CAPÍTULO III

Estudio económico para la implementación del generador fotovoltaico con conexión a la red

Uno de los objetivos principales que cumple los sistemas fotovoltaicos es la remuneración económica después de su instalación e inversión, al igual que su factibilidad técnica. Con base a esto y a otros factores mencionados anteriormente se puede establecer si un proyecto es factible implementarlo o no. Mediante este concepto, en este capítulo se realizó un análisis económico de generación e implementación, partiendo de la información entregada por los distribuidores o empresas afines al tema de investigación.

Cabe señalar que no se consideran valores de importación, es decir, los precios obtenidos son de equipos y materiales que se encuentran en el país.

3.1 Metodología para el análisis económico

En la etapa final de proyecto se presenta el análisis económico del sistema de fotovoltaico diseñado, con el objetivo de determinar la viabilidad y la factibilidad de este para una posible implementación. Por lo cual, para su desarrollo estará compuesto de la metodología siguiente:

a. Método inductivo

Este método se utilizó para analizar y comparar los costos económicos de la planta fotovoltaica diseñada con otros sistemas similares para obtener un valor general de cada caso.

b. Método descriptivo

El método descriptivo se planteó con la finalidad de describir el comportamiento de cada sistema fotovoltaico, así como sus características y su comportamiento en ámbito financiero.

c. Método deductivo

Este método se utilizó para establecer un resultado o conclusión final después del análisis obtenido al aplicar el método descriptivo.

3.2 Formulación matemática para la viabilidad del proyecto

La viabilidad económica se estableció como cualquier tipo proyecto de inversión, determinando el VAN y el TIR en función del diseño realizado. A continuación, se describe cada uno.

3.3 Valor actual neto

Con la finalidad de determinar si el proyecto en el futuro aumenta o disminuye su valor económico se utilizó la técnica llamada, valor actual neto (VAN) representado por la Ec.17 el cual consiste en sumar todos los flujos de caja de cada año y restarlos por la inversión, tomando en cuenta la tasa de interés de retorno. (Rosero, Vega, & Alcívar, 2019)

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (17)$$

n = número de periodo considerado

V_t = flujo de caja de cada periodo

k = interés

I_0 = valor de inversión

3.4 Periodo de recuperación

Se aplicó el periodo de recuperación o payback en el proyecto para establecer la cantidad de años necesarios para recuperar la inversión preliminar o inicial, por lo tanto, se plantea la Ec. 18. (Sapag, Sapag, & Sapag, 2014)

$$PR = \frac{I_0}{BN} \quad (18)$$

Donde

PR = periodo de recuperación

I_0 = inversión Inicial

BN = flujo de caja

3.5 Tasa interna de rentabilidad

La tasa interna de rentabilidad (TIR) es una herramienta utilizada para evaluar la viabilidad de proyectos con financiamiento económico. La TIR es el porcentaje de rendimiento a futuro de una inversión y se calcula con la Ec.17, pero utilizando un VAN igual o superior a cero, además se debe tener en consideración los siguientes criterios: (Perez, 2017)

- a. El proyecto es aceptable si el TIR obtenido da como resultado un VAN de cero o mayor.
- b. El proyecto no es aceptable si el TIR encontrado es con un VAN menor de cero.

3.6 Energía resultante

Con la finalidad de comprender y establecer si existe inyección de corriente a la red eléctrica se estableció los siguientes criterios:

$$\Delta E = \text{Energía consumida de la red} - \text{Energía inyectada a la red} \quad (19)$$

- La energía producida por la planta fotovoltaica será destinada para el autoconsumo de la edificación y en el caso de una inyección de energía a la red se procede a la liquidación, mediante la Ec. 19.
- En el caso de existir un valor negativo la empresa distribuidora procede a la facturación de la energía consumida, por lo contrario, al presentar un valor positivo a favor del consumidor se considera como un crédito que se puede descontar al siguiente mes y sucesivamente hasta los dos años, donde se restaurará el valor en cero. (ARCONEL, 2018)

3.7 Viabilidad ambiental

Para determinar cuál es el ahorro de emisión de CO₂ al operar un sistema fotovoltaico se utilizó la Ec.20, la cual establece que se puede cuantificar la contaminación ambiental conociendo la potencia fotovoltaica diaria, el tiempo de producción o de generación y el factor marginal de emisión de gases. (Oscullo & Haro, 2016)

$$DCO_2 = 0.645 * Pe \quad (20)$$

Donde

DCO_2 = Disminución del CO_2

Pe = Energía eléctrica

0.645 = factor marginal de emisión de gases

3.8 Costos totales

Para el desarrollo de la parte económica inicialmente se desglosó el sistema fotovoltaico según sus componentes y precios, como se muestra en la Tabla 3.1, además, se tomó en consideración valores adicionales como la instalación, la mano de obra, la ingeniería, entre otros. A continuación, se presentan dos casos similares al diseño estudiado con la finalidad de establecer un análisis técnico económico.

TABLA 3. 1

GENERADOR MONOCRISTALINO SOBRE LA ESTRUCTURA

MONOCRISTALINO FIJO CON ESTRUCTURA				
EQUIPOS Y MATERIALES				
CANTIDAD	MATERIAL	MARCA	COSTO (USD)	TOTAL (USD)
34	Módulo FV 400 W	Yingli Solar	165.00	5 610.00
1	Inversor	Growatt 15000TL3	2500.00	2 500.00
18	Estructura de 3 módulos	Editor	175.00	3 150.00
1	Medidor bidireccional	Iskra	220.18	220.18
1	Puesta a tierra		25.00	25.00
136	Accesorios, sujetadores	Editor	1.25	170.00.00
1	Cableado/Protecciones		500.00	500.00
1	Caja de conexión		60.00	60.00
TOTAL				12 235.18
ESTUDIO Y ANÁLISIS				
1	Ingeniería		1 200.00	1 200.00
INSTALACIÓN				
1	Mano de obra		300.00	300.00
1	gastos varios		200.00	200.00
TOTAL				1 700.00
GASTO TOTAL				13 935.18

Fuente: Autor

Para el primer caso se planteó un generador fotovoltaico compuesto de una estructura metálica de aluminio que permite a los paneles de tipo monocristalino tener un ángulo de inclinación de 10. 34°. Por consecuencia, las pérdidas por orientación e inclinación serán menores, de modo que aumentará el costo económico del sistema como se observa en la Tabla 3.1.

TABLA 3. 2

GENERADOR POLICRISTALINO FIJO

POLICRISTALINO FIJO				
EQUIPOS Y MATERIALES				
CANTIDAD	MATERIAL	MARCA	COSTO(USD)	TOTAL (USD)
34	Módulo FV 400W	CanadianSolar Hiku	251.00	8 534,00
1	Inversor	Growatt 15000TL3	2500.00	2 500.00
1	Medidor bidireccional	Iskra	220.18	220.18
1	Puesta a tierra		25.00	25.00
136	Accesorios, sujetadores	Editor	1.25	170.00
1	Cableado/ Protecciones		500.00	500.00
17	Estructura Coplan.	Editor	30	510
1	Caja de conexión		60.00	60.00
TOTAL				12 519.18
ESTUDIO Y ANÁLISIS				
1	Ingeniería		1200.00	1200.00
INSTALACIÓN				
1	Mano de obra		300.00	300.00
1	gastos varios		200.00	200.00
TOTAL				1 700.00
GASTO TOTAL				14 219.18

Fuente: Autor

TABLA 3. 3

GENERADOR MONOCRISTALINO FIJO

MONOCRISTALINO FIJO				
EQUIPOS Y MATERIALES				
CANTIDAD	MATERIAL	MARCA	COSTO (USD)	TOTAL(USD)
34	Módulo FT V 400W	Yingli Solar	165.00	5 610.00
1	Inversor	Growatt 15000TL3	2500.00	2 500.00
1	Medidor bidireccional	Iskra	220.18	220.18
1	Puesta a tierra		25.00	25.00
137	Accesorios, sujetadores	Editor	1.25	170.00
1	Cableado/ Protecciones		500.00	500.00
17	Estructura Coplanar	Editor	30	510
1	Caja de conexión		60.00	60.00
TOTAL				9 595.18
ESTUDIO Y ANÁLISIS				
1	Ingeniería		1200.00	1 200.00
INSTALACIÓN				
1	Mano de obra		300.00	300.00
1	gastos varios		200.00	200.00
TOTAL				1 700.00
GASTO TOTAL				11 295.18

Fuente: Autor

Para el segundo caso se estimó un diseño con paneles solares policristalino los cuales se montan en la parte superior supermercado, es decir, tienen una inclinación de 18.4° con una orientación norte-sur a 20° grados de acimut, los elementos del sistema se muestran en la Tabla 3.2.

Por último, se tiene el caso del generador diseñado, (expuesto en el capítulo dos), el cual tiene como paneles de tipo monocristalino, y como se mencionó anteriormente se instalan en la cubierta del edificio, por consiguiente, se tiene un ángulo de 18.4° de inclinación y una orientación de acimut 20°, en la Tabla 3.3 se observan los dispositivos que se necesitan para este diseño.

A nivel general se observó que la inversión para cada caso varía en función del equipamiento integrado, por lo tanto, para determinar cuál sistema tiene una mejor posibilidad para su implementación(viabilidad), se estableció una proyección anual de cada generador. A continuación, en la Tabla 3.4 se muestran los valores de generación.

TABLA 3. 4
GENERACIÓN MENSUAL DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Mes	Generación (kWh)	G. Mono. Estr. (4,8%) (kWh)	G. Poli. Fijo (10.8%) (kWh)	G. Mono. Fijo. (10,8%) (kWh)
Enero	1 351.65	1 286.77	1 205.67	1 205.67
Febrero	899.64	856.46	802.48	802.48
Marzo	1 211.47	1 153.32	1 080.63	1 080.63
Abril	1 089.56	1 037.26	971.89	971.89
Mayo	1 236.55	1 177.20	1 103.01	1 103.01
Junio	1 485.12	1 413.83	1 324.73	1 324.73
Julio	1 717.60	1 635.15	1 532.10	1 532.10
Agosto	1 730.88	1 647.80	1 543.94	1 543.94
Septiembre	1 563.66	1 488.60	1 394.78	1 394.78
Octubre	1 516.92	1 444.10	1 353.09	1 353.09
Noviembre	1 460.84	1 390.72	1 303.07	1 303.07
Diciembre	1 623.16	1 545.25	1 447.86	1 447.86
PROMEDIO	1 407.25	1339.71	1255.27	1255.27

Fuente: Autor

Como se mencionó anteriormente los dos eventos propuestos para el análisis nacen de las posibles variaciones que puede tener el diseño, por un lado, se tiene un sistema de generación solar con la ventaja de obtener menores pérdidas por orientación, pero la desventaja de

necesitar mayor financiamiento y por otro lado un generador fotovoltaico más económico, pero con porcentaje de pérdidas mayor.

En la Tabla 3.4 se puede observar que para el sistema policristalino y el monocristalino fijo se determinó valores de generación económicos similares porque comparten la misma inclinación y orientación, pero tienden a diferenciarse por la composición interna del panel, en consecuencia, su precio tiende a variar. Además de modo comparativo se puede apreciar un desglose de la generación ideal, es decir, sin ningún tipo de pérdidas estableciendo así un punto de comparación de cada uno.

3.9 Análisis económico

En término económicos la energía eléctrica generada mensualmente es equivalente a un monto de dinero específico, este monto se obtuvo mediante el pliego tarifario dado por el ARCONEL. El cual estima que la tarifa es de 9 ctvs el kilovatio hora. (ARCONEL, 2020) para usuarios comerciales. Ajustándose a las características del supermercado “mi Rey” al ser usuario comercial con demanda (Emelnorte, 2020). Por lo tanto, en la Tabla 3.5 se muestra los montos económicos de generación mensual de los tres sistemas, al igual que el costo anual de cada uno.

TABLA 3. 5
GENERACIÓN ECONÓMICA MENSUAL

MES	MONOCRISTALINO CON ESTRUCTURA (USD)	POLICRISTALINO FIJO (USD)	MONOCRISTALINO FIJO (USD)
Enero	115.81	108.51	108.51
Febrero	77.08	72.22	72.22
Marzo	103.80	97.26	97.26
Abril	93.35	87.47	87.47
Mayo	105.95	99.27	99.27
Junio	127.25	119.23	119.23
Julio	147.16	137.89	137.89
Agosto	148.30	138.95	138.95
Septiembre	133.97	125.53	125.53
Octubre	129.97	121.78	121.78
Noviembre	125.17	117.28	117.28
Diciembre	139.07	130.31	130.31
SUMATORIA	1 446.88	1 355.69	1 355.69

Fuente: Autor

Ahora bien. Para determinar cuál generador tiene mejor viabilidad se procedió a aplicar la Ec.17 y la Ec.18 correspondientes al VAN al igual que el payback respectivamente, todo esto a una proyección de 20 años. Cabe señalar que este valor es establecido por la resolución ARCONEL – 042/18. En este sentido en las Tablas 3.6, 3.7, 3.8 se presenta el comportamiento de los flujos de caja concernientes a las plantas fotovoltaicas.

TABLA 3. 6

SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO M. E. FLUJO DE CAJA, VAN, TIR Y PAYBACK

MONOCRISTALINO CON ESTRUCTURA			
AÑO	INVERSIÓN (USD)	INGRESO (USD)	FLUJO DE CAJA (USD)
0	13 935.18	-13 935.18	-
1		1 446.88	-12 488.30
2		1 446.88	-11 041.41
3		1 446.88	-9 594.53
4		1 446.88	-8 147.65
5		1 446.88	-6 700.77
6		1 446.88	-5 253.88
7		1 446.88	-3 807.00
8		1 446.88	-2 360.12
9		1 446.88	-913.24
10		1 446.88	533.65
11		1 446.88	1 980.53
12		1 446.88	3 427.41
13		1 446.88	4 874.29
14		1 446.88	6 321.18
15		1 446.88	7 768.06
16		1 446.88	9 214.94
17		1 446.88	10 661.82
18		1 446.88	12 108.71
19		1 446.88	13 555.59
20		1 446.88	15 002.47
		VAN	1 393.12
		TIR	7%
		PAYBACK	9.63

Fuente: Autor

Como se demostró anteriormente para el generador con paneles de tipo monocristalino con estructura, se fijó una inversión de 14 219.18 dólares americanos, valor que, en base al análisis de la Tabla 3.6 se reduce periódicamente en función al ingreso o producción anual. Dando como resultado un retorno económico a 9 años y 7 meses con una tasa interna de retorno (TIR) del 7% y un VAN de 1 393.12 haciéndolo un proyecto aceptable (Perez, 2017).

TABLA 3. 7

SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO P.F. FLUJO DE CAJA, VAN, TIR, PAYBACK

POLICRISTALINO FIJO			
AÑO	INVERSIÓN (USD)	INGRESO (USD)	FLUJO DE CAJA (USD)
0	-14 219,18	-14 219,18	-
1		1 355.69	-12 863.49
2		1 355.69	-11 507.79
3		1 355.69	-10 152.10
4		1 355.69	-8 796.41
5		1 355.69	-7 440.72
6		1 355.69	- 6 085.02
7		1 355.69	-4 729.33
8		1 355.69	-3 373.64
9		1 355.69	-2 017.95
10		1 355.69	-662.25
11		1 355.69	693.44
12		1 355.69	2 049.13
13		1 355.69	3 404.82
14		1 355.69	4 760.52
15		1 355.69	6 116.21
16		1 355.69	7 471.90
17		1 355.69	8 827.59
18		1 355.69	10 183.29
19		1 355.69	11 538.98
20		1 355.69	12 894.67
		VAN	1 330.51
		TIR	6%
		PAYBACK	10.48

Fuente: Autor

Para el policristalino fijo se estimó ingresos anuales de 1 330.51 USD, cantidad es que se sumaran en transcurso de los 20 años planteados, de modo similar se tiene que restar la inversión de 14 219.18 USD.

Por lo tanto, según la Tabla 3.7 el interés de retorno es de 10 años y un aproximado de 5 meses, con un TIR de 6% y un VAN superior a cero por lo que se considera un valor positivo para su inversión.

TABLA 3. 8

SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO M.F. FLUJO DE CAJA, VAN, TIR, PAYBACK

MONOCRISTALINO FIJO			
AÑO	INVERSIÓN (USD)	INGRESO (USD)	FLUJO DE CAJA (USD)
0	11 295.18	-11 295,18	-
1		1 355.69	-9 939.49
2		1 355.69	-8 583.79
3		1 355.69	-7 228.10
4		1 355.69	-5 872.41
5		1 355.69	-4 516.72
6		1 355.69	-3 161.02
7		1 355.69	-1 805.33
8		1 355.69	-449.64
9		1 355.69	906.05
10		1 355.69	2 261.75
11		1 355.69	3 617.44
12		1 355.69	4 973.13
13		1 355.69	6 328.82
14		1 355.69	7 684.52
15		1 355.69	9 040.21
16		1 355.69	10 395.90
17		1 355.69	11 751.59
18		1 355.69	13 107.29
19		1 355.69	14 462.98
20		1 355.69	15 818.67
		VAN	246.59
		TIR	10%
		PAYBACK	8.33

Fuente: Autor

Finalmente, para el generador con paneles monocristalino fijo se planteó una inversión de 11 295,18 dólares americanos, valor que según la Tabla 3.8 serán recuperados después de transcurrir 8 años y 3 meses a una tasa de interés del 10% y un VAN de 246.59USD.

De los tres sistemas planteados se obtuvo tasas de interés de retorno de 7%, 6% y 10%, al igual que un VAN positivo para todos los escenarios. Por lo tanto, se puede determinar que todos los casos son proyectos considerados como aceptables, (Meza, 2016) al igual que el criterio de recuperación financiera impuesto por el payback, (Perez, 2017). Por lo que se estimó valores comprendidos entre los 8 a 10 años, por este motivo, se establece que la mejor opción para llevarlo a la implementación es el monocristalino fijo, porque cuenta con una tasa de interés más alta a comparación de los otros sistemas y una remuneración más corta.

3.10 Factibilidad técnica

El objetivo principal del generador fotovoltaico es sustituir la potencia consumida por los equipos electrónicos del supermercado por potencia fotovoltaica, por ello se procede a analizar la generación del sistema seleccionado.

Al inicio de la investigación se consideró que la energía diaria consumida del supermercado es de 190.94 kWh, de este valor se partió para realizar el diseño del generador fotovoltaico con conexión a red el cual tiene como objetivo remplazar el 25% del consumo energético o en otro contexto el 45.5 kWh en generación fotovoltaica, no obstante, el sistema conseguido afronta diversos factores que no permiten una generación ideal, dando como resultado una producción de 41.27 kWh que representa el 21.6% del valor inicial, por lo tanto se puede decir que el generador no cumple con lo establecido inicialmente, pero si tiene un valor aproximado al deseado.

A continuación, en la Tabla 3.9 se puede apreciar la reducción de energía resultante a consumir, al ser restado la producción del generador fotovoltaico con la energía a consumir por el supermercado en un transcurso de 20 años. De esta manera se cumple con el objetivo de disminuir la dependencia de la red eléctrica.

TABLA 3. 9

Análisis de generación del sistema fotovoltaico y el supermercado

Escenarios	Consumo diario de energía (kWh)	Número de días	Vida útil	Consumo total de energía (kWh)
Generador	41.27	365	20	301 198.00
Supermercado sin SFCR	190.94	365	20	1 393 862.00
			RESULTANTE	1 092 664.00

Fuente: Autor

3.11 Factibilidad económica

El aspecto económico guarda similitud con la factibilidad técnica porque de este depende la remuneración económica a obtener, en el apartado 3.10 se estableció que la producción promedio al día es de 41.27 kWh y el consumo del supermercado es de 190.94 kWh, de la misma forma en el apartado 3.9 se impuso un valor de 9 ctvs el kilovatio hora. Mediante la tabla 3.10 se analizó los valores derivados.

TABLA 3. 10

Análisis económico del sistema fotovoltaico y el supermercado

Escenarios	Consumo diario de energía (kWh)	Comercialización (USD)	Número de días	Vida útil	Valor total (USD)
Generador	41.27	0.09	365	20	27 114.39
Supermercado sin SFCR	190.94	0.09	365	20	125 447.58
				RESULTANTE	98 333.19

Fuente: Autor

Como se observa en la tabla se obtuvo que el costo económico total de generación de la planta fotovoltaico a un lapso de 20 años es de 27 114.39 dólares americanos y el consumo estimado del supermercado sin incorporar el generador es de 125 447.58 dólares en el mismo intervalo de tiempo. Pero existe una tendencia a la reducción si se realiza la aplicación del sistema, resultando un valor de 98 333.19 dólares americanos. Desglosando en términos de porcentaje del 100% de consumo en los 20 años se reduce a 78.39%, tomando en consideración que la generación representa el 21.61%. Comprendiendo que, aunque no se llegó al valor deseado si se obtuvo un valor cercano.

3.12 Aspecto ambiental

Ahora bien, en el ámbito de contaminación ambiental se precede a encontrar cuál sería el ahorro o la reducción de emisión de CO₂, para esto se aplica la Ec 20.

$$DCO_2 = 15\,065 \frac{kWh}{año} * 0.6945 \frac{toneladas\ de\ CO_2}{kWh}$$
$$DCO_2 = 10\,462.64\ toneladas\ de\ CO_2/año$$

Mediante el resultado obtenido se establece que se disminuyó la emisión de 10 462.64 toneladas de CO₂ al año, todo esto calculando la energía generada por la planta fotovoltaica con el factor marginal de emisión de gases. Considerando que en cualquier aspecto de reducción de emisión del CO₂ es factible una implementación.

CONCLUSIONES

- Todas las tecnologías analizadas en la investigación se encuentran definidas en función de su utilidad y características, con la finalidad de establecer cuál de estos se encuentra acorde al tipo de generación requerida para la edificación del supermercado 'mi REY'. Obteniéndose que se requiere paneles de tipo monocristalino, un inversor trifásico, un medidor bidireccional, protecciones para la parte de DC y AC, Por último, un sistema de puesta tierra convencional.
- El sistema de generación fotovoltaico diseñado se compone de elementos y de equipos que se seleccionaron en función de las características de operación, y, basándose en los lineamientos establecidos en los cálculos realizados. Dando como resultado un promedio de generación de 1 237 kWh al mes, valor no tan apartado al planteado al inicio de la investigación de 1 366 kWh mensuales, la consecuencia principal de este resultado es debido porque se presentaron perdidas por orientación e inclinación.
- A partir del análisis de viabilidad se establece que las prestaciones entregadas por el generador diseñado en el ámbito financiero son las más favorables para el usuario porque permite una remuneración económica más rápida de 8 años y 3 meses a comparación de los otros dos posibles sistemas de 10 y 9 años, del mismo modo la tasa interna de retorno obtenida es 4 % mayor que las otras plantas fotovoltaicas estudiadas es decir 10% para el diseño elaborado y 6% para los otros.
- Después de analizar la factibilidad técnica al implementar el generador fotovoltaico con conexión a red en el supermercado se determina que este presenta una capacidad de generación del 21.61% respecto a la demanda mensual del supermercado, valor que se resta el consumo energético del edificio, del mismo modo el análisis de la factibilidad económica presenta valores similares al comparar el costo total de consumo con la generación del sistema fotovoltaico, es decir, si se empleara el generador o no. Basándose en los resultados obtenidos se puede establecer que el diseño es favorable tanto en la viabilidad como en la factibilidad.

RECOMENDACIONES

- Al existir una gran variedad de elementos y materiales referentes a generadores fotovoltaicos es necesario realizar un estudio amplio de los componentes disponibles en el mercado, tanto del parte técnico como de la económica. Porque esto ayudará a conseguir equipamiento más ajustado a los cálculos realizados y evitar sobredimensionar el sistema, en consecuencia, generar gastos innecesarios.
- Con la finalidad de obtener mayor precisión en los resultados de producción, se debe utilizar fuentes y base de datos referentes al sitio o lo más aproximado al lugar de estudio, evitando situaciones similares como las presentadas en la simulación donde se encuentran valores de generación anuales más elevados que los calculados en el diseño.
- Para una posible implementación de la planta fotovoltaica diseñada se debe tener en cuenta que es necesario presentar documentos adicionales como formularios, solicitudes y contrato a la empresa regional que comercializa la energía eléctrica, según la regulación ARCONEL 003 /18, para el caso de la ciudad de Ibarra es la institución pública EMELNORTE, misma que se encarga de fiscalizar y aprobar el proyecto.

REFERENCIAS

- AMM.Capital. (10 de Enero de 2021). *Kit estructura coplanar corta para cubierta metálica*. Obtenido de AMM capital:
https://ammcapital.es/epages/ec9548.mobile/es_EC/?ObjectPath=/Shops/ec9548/Products/EstcopIHE
- Arancibia, C., & Best, R. (2010). Energía del solar. *Ciencia*, 10-17.
- ARCONEL. (22 de Octubre de 2018). *Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica*. Ecuador, Ecuador. Obtenido de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/regulaciones/>
- ARCONEL. (2020). *Balance Nacional de Energía Eléctrica Abril 2020*. Quito:
<https://www.regulacionelectrica.gob.ec/balance-nacional/>.
- ARCONEL. (23 de Diciembre de 2020). *Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución (Enero-Diciembre)2020*. Obtenido de Resolución 035/19:
<https://www.regulacionelectrica.gob.ec/resoluciones-pliegos-tarifarios/>
- Arqui, P., & Vallejo, B. (2019). *Implementación de un analizador de redes trifásico a bajo costo*. Investigación Tecnológica ISTST. Obtenido de http://investigacionistct.ec/ojs/index.php/investigacion_tecnologica/article/view/14
- Autodesk Inc. (25 de Febrero de 2020). *AutoCAD & General Design*. Obtenido de CAD software to design: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/autocad-general-design>
- Buele, C., & Chazi, A. (2019). *Modelación del sistema fotovoltaico conectado ala red eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana sede de Cuenca*. Cuenca: (Título de pregrado).
- Burdick, J., & Schmidt, P. (2017). *Install your own solar panels : designing and installing a photovoltaic system to power your home*. North Adams, MA : Storey Publishing.
- Cantos, J. (2016). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas, 1ra. ed*. Madrid: Paraninfo.
- Cárdenas, M. (2019). *Estudio técnico económico de la energía solar fotovoltaica y mini a pequeña escala*. Cuenca: (Trabajo de pregrado).
- Carta, J. (2009). *Centrales de energía renovable*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- CLAMPER. (2016). *Protección contra sobretensiones en sistemas fotovoltaicos*. Obtenido de CLAMPER: <https://www.mgi.com.uy/images/pdf/CLAMPER/energia-solar-fotovoltaica/fotovoltaico.pdf>
- CONELEC. (Agosto de 2008). *Atlas del Ecuador con fines de generación eléctrica*. Quito, Ecuador.
- Criollo, N., Maks, M., & Rodríguez, A. (2020). Diseño de participación comunitaria para proyectos de energía fotovoltaica. *Revista de la facultad de arquitectura y urbanismo de universidad de Cuenca*, 7-16.
- Cruceira, E. (2019). *Implementación de un sistema de generación solar fotovoltaico con integración a la red eléctrica en el edificio de la carrera de ingeniería eléctrica de la universidad técnica del norte, (título de pregrado)*. Ibarra, Ecuador.
- Cruz, J. (2015). *Guía de mantenimiento en instalaciones fotovoltaicas*. Barcelona: Ediciones Experiencia.

- Cucó, S. (2020). *Instalación fotovoltaica en autoconsumo: caso práctico: centro deportivo*. Obtenido de Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia: <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/170291>.
- Cushicóndor, S. (2019). *Estimación de irradiancia solar basada en modelos matemáticos y medición del las variables eléctricas de paneles fotovoltaicos*. Quito.
- ECP. (25 de 02 de 2020). *Ingenierías. Norma Ecuatoriana de la Construcción – Seguridad Estructural*. Obtenido de <https://www.ecp.ec/ingenieria-nec-se/>
- Ecuatran. (20 de Febrero de 2020). *BE energy*. Obtenido de Ecuatran: <https://www.ecuatran.com/blog/la-energia-renovable-en-ecuador/>
- Emelnorte. (11 de Diciembre de 2020). *Consulta de Consumos de Energía-Información de suministro*. Obtenido de https://www3.emelnorte.com/Consultas_ConsumoWEB/index.xhtml
- Energy, A. (19 de Junio de 2020). *Cálculo de un sistema solar fotovoltaico [Video]*. Facebook. Obtenido de <https://www.facebook.com/allianzenergy/videos/942012939560546>
- Espitia, C. (2017). *Guía metodológica para la implementación de sistemas fotovoltaicos a pequeña escala en Colombia*. Bucaramanga, Colombia.
- Espitia, C. (2020). *Dimensionamiento de sistema fotovoltaico. sesión 1* (págs. 28-29). Santander: innpulsa.
- Fernández, F. (2016). *Instalaciones eléctricas en edificios de oficinas, comercios e industrias (MF0821)*. Lorquí: Cano Pina.
- Franco, J. (2014). *Propuesta de mejoramiento del sistema puesta a tierra del Centro de cómputo alternativo de banco Internacional de la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil.
- García, L. (2020). *Estudio de prefactibilidad para la aplicación de un sistema fotovoltaica para el edificio administrativo de la Central Termoeléctrica El Descanso, de acuerdo con la Regulación Nro. ARCONEL -003/18*. Cuenca: (Trabajo de obtención de pregrado).
- Gil, H. (13 de julio de 2015). *Optimal design of solar photovoltaic systems*. Obtenido de http://scholarlyrepository.miami.edu/oa_dissertations/1452
- Gomez, G., & Tejeda, A. (2015). *Puntuación solar de México*. Colima: C.P. 91000, Xalapa, Veracruz, México.
- Google. (s.f.). *[Mapa de Ibarra, Ecuador en Google maps]*. Recuperado el 6 de Diciembre de 2020, de <https://www.google.com.ec/maps/@0.3423907,-78.121198,226m/data=!3m1!1e3>
- Gozalbes, M. (2015). *Estudio comparativo de tres sistemas aislados de diferente configuración*.
- Guerrero, C., & Leon, D. (2018). *Estudio preliminar de potencia solar de implementación de una central solar térmica concentrada en el Ecuador*. Cuenca: (Tesis de pregrado).
- Imene, Y. (2018). *Advances in renewable energies and power technologies*. Madrid: Project Manager.
- ITC. (2008). *Energías renovables y eficiencia energetica*. Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.
- Iza, J. (2020). *Diseño de una central fotovoltaica para abastecimiento de energía eléctrica del campus de la escuela politécnica nacional*. Quito: (Trabajo previo ala titulación).
- Jinkosolar. (1 de 1 de 2017). *Eagle Plus 72 340-360 Watt*. Obtenido de <https://www.renova-energia.com/productos/panasonicvbhn250ae02-250w-24vdc/>

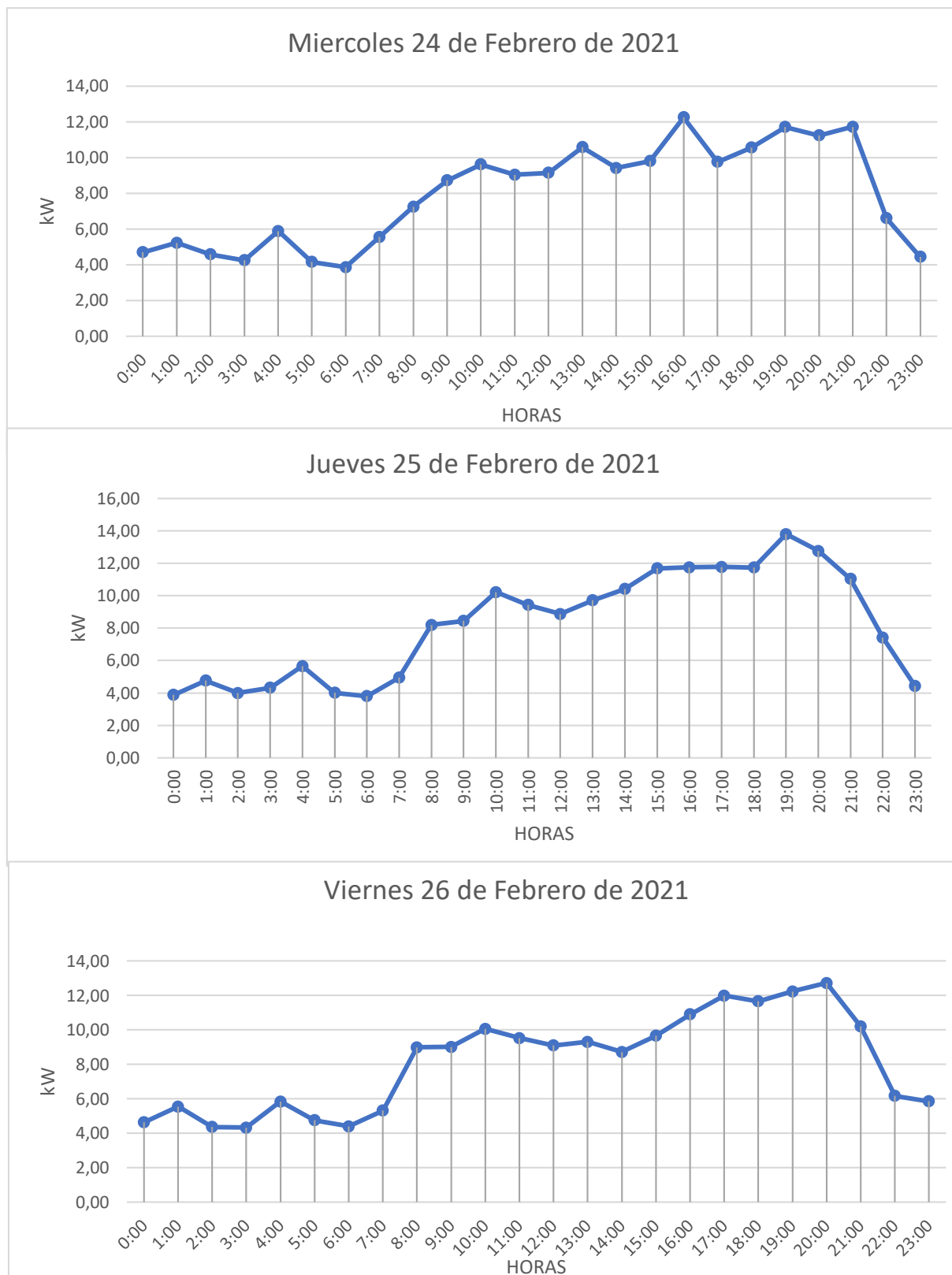
- Levy, R. (2020). *Levy, R. R. (2020). Instalaciones eléctricas industriales*. Córdoba: Jorge Sarmiento Editor - Universitas. Obtenido de <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/172524>
- López, W. (2019). *Diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica para la empresa pública metropolitana de transporte de pasajeros de Quito*. Quito: (Trabajo de pregrado).
- Meza, J. (2016). *Evaluación financiera de proyectos*. Bogotá : Ecoe ediciones .
- Mohanty, P., Munner, T., & Kolhe, M. (2016). *Solar Photovoltaic system applications*. London: DOI 10.1007/978-3-319-14663-8.
- NASA POWER. (s.f.). *[Coordenadas geográficas de Ibarra]*. Recuperado el 7 de Diciembre de 2020, de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Oñate , F. (Enero de 2014). Mecanismo para la promoción de energías renovables no convencionales para la producción de energía eléctrica en el Ecuador. Quito, Ecuador.
- Ortiz , Y. (2015). *Análisis de ciclo de vida de la generación eléctrica aplicación para una central eólica y una central solar fotovoltaica*. Cuenca: (Tesis de pregrado).
- Oscullo, J., & Haro, L. (2016). Factor Anual de Emisión de CO2 Producido por el Parque Generador del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, mediante la Aplicación de la Metodología de la Convención Marco sobre el Cambio Climático UNFCCC, para el periodo 2009-2014. *Revista Politécnica*, 37(1), 7. Obtenido de https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/66
- Pelaez , M. R., & Espinoza , J. L. (1 de diciembre de 2015). Energías renovables en el Ecuador. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Perales, T. (2015). *El universo de las energías renovables*. Bogotá: Alfaomega Colombia S.A.
- Perez, A. (2017). *Proyecto de viabilidad del negocio o microempresa*. CPE, S.L.
- Perpiñan, O. (2020). *Características distintivas de SFCR sobre suelo y edificación*. Madrid: Creative commons.
- Picquart, M. (2016). *Energía nuclear contaminación radiactiva y sus efectos*. Coyoacán: Calzada Del Hueso 1100 Col.
- PVsyst SA. (2020). *PVsyst 7 is available*. Recuperado el 25 de Febrero de 2020, de <https://www.pvsyst.com/pvsyst-7-informations/>
- Queijo, G. (2018). *Queijo García, G. (2018). Fundamentos de tecnología eléctrica. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia*. <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/48926>. Madrid: UNED. Obtenido de <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/48926>
- Raboso Lopez, A. M. (2013). *Diseño de un sistema fotovoltaico para aumentar una potabilizadora desalinizadora automata (tesis de pregrado)*. Andalucía, España.
- Ramos, H., & Luna, R. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico integrado ala red en el area de estacionamiento de la universidad de salamanca*. Chihuahua: (Trabajo de posgrado).
- Romero, J., & Flores, J. (24 de Octubre de 2019). Estudio e implementación de un sistema de microgeneración solar fotovoltaico para autoconsumo. Cuenca, Ecuador.
- Rosero, D., Vega, V., & Alcívar, S. (21 de Julio de 2019). *Formulación y evaluación de proyectos*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/343106204>

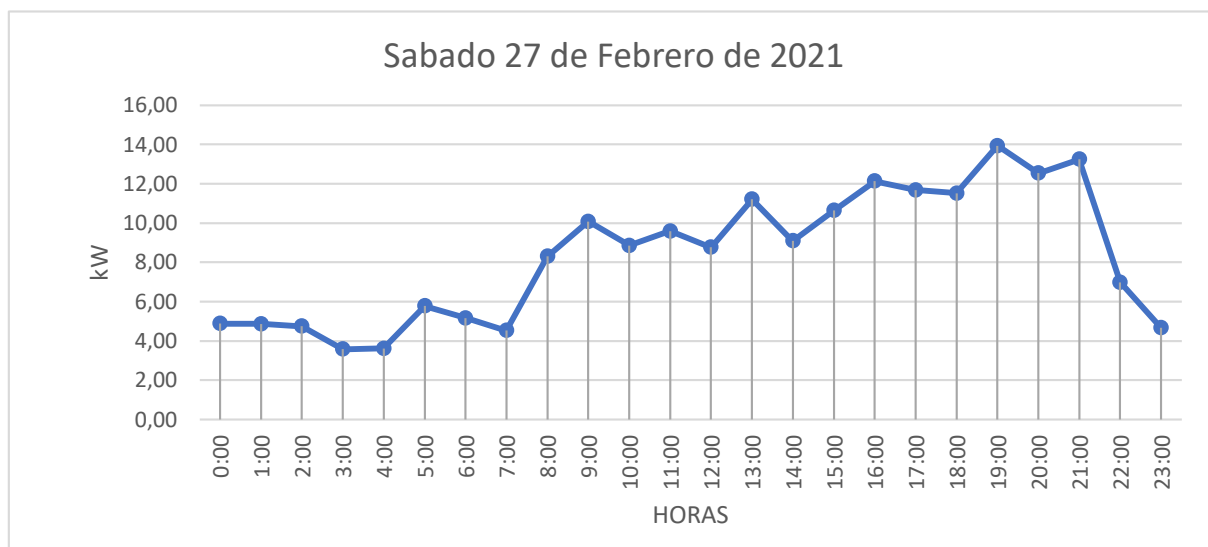
- Rosero, J., Garza, L., Minchala, L., Pozo, D., & Morales, L. (2013). Fuentes de generación de energía eléctrica convencional y renovable a nivel mundial. *Revista Politécnica*, 1-13.
- Sapag, N., Sapag, R., & Sapag, J. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos*. Ciudad de México: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- SENPLADES. (2017). Plan Nacional de planificación y desarrollo 2017-2021. En SENPLADES. Quito-Ecuador: SENPLADES. Obtenido de Toda una vida. Plan Nacional de planificación y desarrollo 2017-2021.
- SMA. (04 de Marzo de 2020). *Performance ratio - Quality factor for the PV plant*. Obtenido de SMA Solar Technology AG : <https://files.sma.de/downloads/Perfratio-TI-en-11.pdf>
- Style, O. (2012). *Energía solar autónoma* . ITACA.
- Tobajas, C. (2018). *Energía solar fotovoltaica*. Murcia: Cano pina. Obtenido de <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/45047>
- Vaca, D., & Ordoñez, F. (2019). Mapa solar del Ecuador 2019. *SCINERGY*, 12-13. Obtenido de Ingeniería verde de innovacion.
- VOLT. (15 de Abril de 2016). *Medidor Bidireccional*. Obtenido de VOLT Ingeniería: <https://www.voltingenieria.com.mx/single-post/2016/04/15/Medidor-Bidireccional>

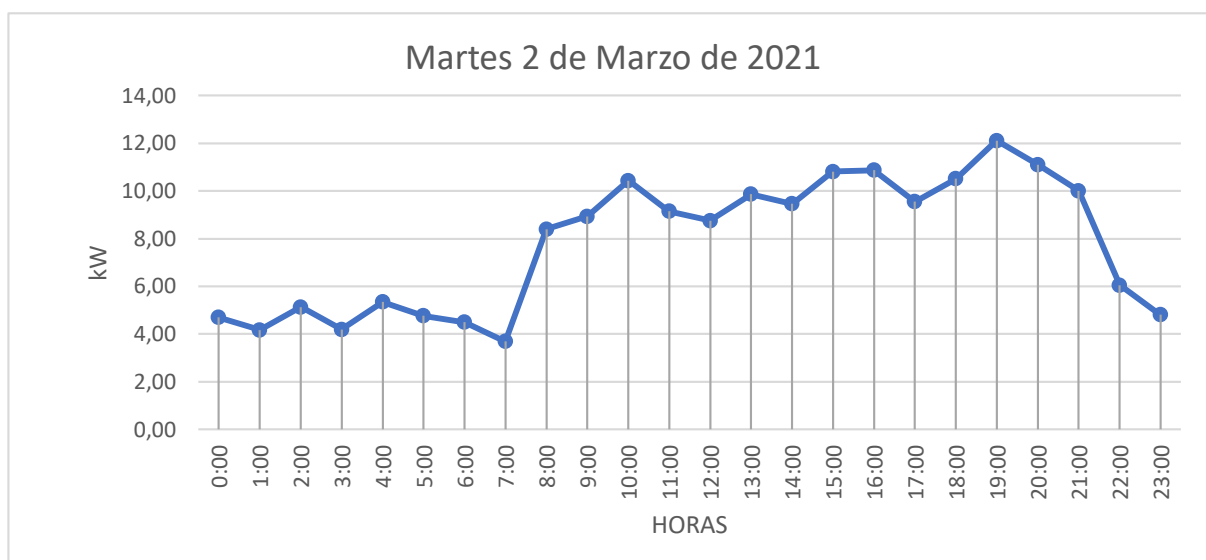
ANEXOS

ANEXO A

comportamiento de la carga del 24 de mayo del 2021 al 2 de marzo







HORA	Miercoles (kWh)	Jueves (kWh)	Viernes(kWh) (kWh)	Sábado (kWh)	Domingo (kWh)	Lunes (kWh)	Martes (kWh)	Promedio (kWh)	
0:00	4,94	4,88	5,36	4,98	5,03	4,28	4,93	4,92	
1:00	9,72	9,99	10,47	9,90	9,84	8,32	9,61	9,69	
2:00	14,23	14,60	14,89	14,39	14,05	12,42	14,09	14,10	
3:00	19,31	19,67	20,08	19,34	18,73	16,27	18,65	18,86	
4:00	24,12	24,61	24,83	23,96	23,20	19,99	22,79	23,36	
5:00	28,25	29,03	29,58	29,02	27,51	23,92	27,10	27,77	
6:00	33,18	34,00	34,67	33,90	32,36	28,23	31,59	32,56	
7:00	37,97	38,93	39,50	38,66	37,13	32,24	36,13	37,22	
8:00	42,70	45,67	46,04	44,62	41,52	38,22	42,18	42,99	
9:00	52,05	54,86	55,70	54,63	49,95	46,88	51,19	52,18	
10:00	61,63	64,18	65,02	64,14	58,24	55,04	60,05	61,19	
11:00	70,63	73,59	74,53	73,74	66,68	64,40	67,86	70,20	
12:00	80,17	83,16	84,09	83,47	76,01	73,91	84,73	80,79	
13:00	90,14	93,05	93,18	93,90	85,18	83,27	93,78	90,36	
14:00	99,90	103,69	101,92	103,56	94,29	92,30	103,74	99,91	
15:00	110,39	116,21	111,88	114,04	104,63	101,84	113,85	110,40	
16:00	121,21	127,94	122,59	125,70	114,91	111,04	123,29	120,95	
17:00	131,24	139,48	134,08	137,58	125,12	120,56	133,79	131,69	
18:00	142,12	151,48	145,48	150,09	135,37	130,96	144,10	142,80	
19:00	153,56	164,56	156,92	162,70	145,84	141,76	154,32	154,24	
20:00	165,32	176,45	169,04	175,18	156,68	152,05	165,28	165,71	
21:00	178,01	188,94	180,57	187,94	167,12	162,48	177,26	177,48	
22:00	185,99	196,83	188,15	195,02	171,65	169,83	188,54	185,14	
23:00	190,67		201,93	193,37	199,80	175,97	174,51	200,36	190,94

ANEXO B

Características del panel solar monocristalino



Panel Solar Monocristalino 400 Watts Half Cel Yingli Solar	Parámetros de operación
Potencia de salida	400 W
Voltaje máximo	41.15 v
Corriente Máxima	9.73 A
Voltaje en circuito abierto	50 V
Rango de operación (Temperatura)	-40 C a 85 C
Peso	22.7 kg
Eficiencia	22%
Dimensiones	2008 mm/1002 mm/40 mm

ANEXO C

Características del inversor

T 15000 TL3-S

Growatt
powering tomorrow



GROWATT 15000 TL3-S	Características
INPUT DATA	
Potencia fotovoltaica recomendada (kWp)	15 - 18 kW
Max. Corriente de entrada utilizable (MPPT 1 / MPPT 2)	20.0 A / 10.0 A
Total máx. Corriente continua	30 A
Max. Voltaje de entrada	1000 V
Voltaje de entrada nominal	600 V
Rango de voltaje MPP	160-1000 V
Número de MPPT	2
OUTPUT DATA	
Max. Potencia de salida AC	15 kW
Max. Potencia aparente AC	16.5 kVA
Max. Corriente de salida continua	23.8 A
Max. Eficiencia	98.4%
Conexión a la red	230 /400 V
Frecuencia	60 Hz
Distorsión armónica total	< 3 %

ANEXO D

Calibre y características de los conductores eléctricos

Capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc., sin exceder de: (amperes)	Tamaño			
	Cobre		Cable de aluminio o aluminio con cobre	
	mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil
15	2.08	14	—	—
20	3.31	12	—	—
60	5.26	10	—	—
100	8.37	8	—	—
200	13.30	6	21.20	4
300	21.20	4	33.60	2
400	33.60	2	42.40	1
500	33.60	2	53.50	1/0
600	42.40	1	67.40	2/0
800	53.50	1/0	85.00	3/0
1000	67.40	2/0	107	4/0
1200	85.00	3/0	127	250
1600	107	4/0	177	350
2000	127	250	203	400
2500	177	350	304	600
3000	203	400	304	600
4000	253	500	380	750
5000	355	700	608	1200
6000	405	800	608	1200

ANEXO E

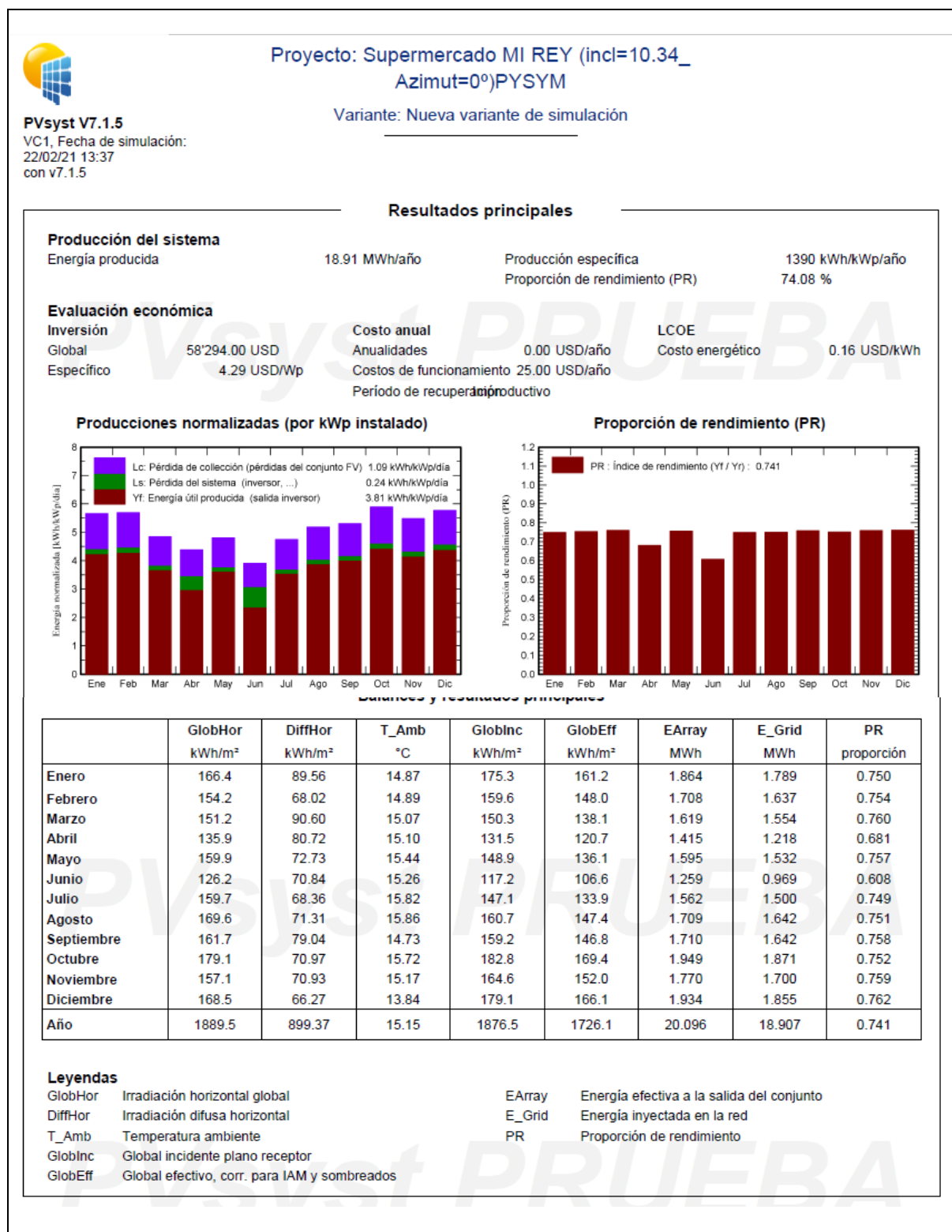
Características del medidor bidireccional



Medidor bidireccional Iskra MT174 D2	Características
Rango de tensión	0.8-1.15 Un
Frecuencia	60 Hz
Voltaje	208/120 VAC
Marca	ISKRA
Rango corriente	5 A a 120 A
Temperatura	-40° C – 80° C
Tipo	Trifásico

ANEXO F

Resultados de la simulación de los generadores monocristalino con estructura, monocristalino fijo y el policristalino fijo en el software PVsyst





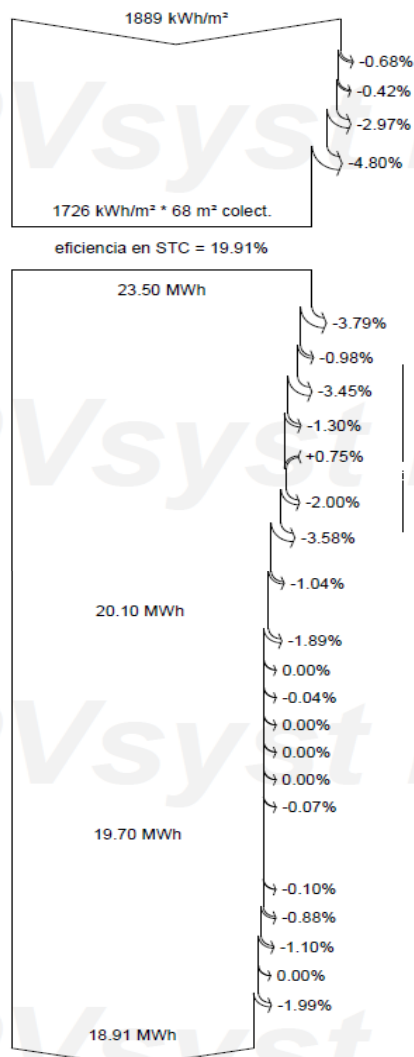
PVsyst V7.1.5

VC1, Fecha de simulación:
22/02/21 13:37
con v7.1.5

Proyecto: Supermercado MI REY (incl=10.34_
Azimut=0°)PYSYM

Variante: Nueva variante de simulación

Diagrama de pérdida



Irradiación horizontal global

Global incidente plano receptor

Sombreados cercanos: pérdida de irradiancia

Factor IAM en global

Factor de pérdida de suciedad

Irradiancia efectiva en colectores

Conversión FV

Conjunto de energía nominal (con ef. STC)

Pérdida de degradación módulos (por año #10)

Pérdida FV debido al nivel de irradiancia

Pérdida FV debido a la temperatura

Corrección espectral

Pérdida calidad de módulo

LID - Degradación inducida por luz

Pérdidas de desajuste, módulos y cadenas
(incluyendo 1.5% para dispersión por degradación)

Pérdida óhmica del cableado

Energía virtual del conjunto en MPP

Pérdida del inversor durante la operación (eficiencia)

Pérdida del inversor sobre potencia inv. nominal

Pérdida del inversor debido a la corriente de entrada máxima

Pérdida de inversor sobre voltaje inv. nominal

Pérdida del inversor debido al umbral de potencia

Pérdida del inversor debido al umbral de voltaje

Consumo nocturno

Energía disponible en la salida del inversor

Auxiliares (ventiladores, otros ...)

Pérdidas óhmicas CA

Pérdida de transfo de voltaje medio

Pérdida óhmica de línea MV

Indisponibilidad del sistema

Energía inyectada en la red



Proyecto: Supermercado MI REY (incl=18.4_
Azimut=20°)PYSYM

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.1.5

VC2, Fecha de simulación:
22/02/21 01:04
con v7.1.5

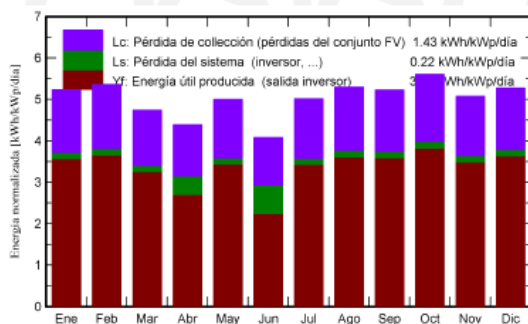
Resultados principales

Producción del sistema

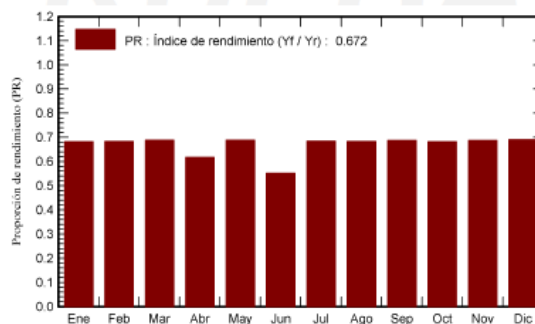
Energía producida 16.76 MWh/año
Energía aparente 18.22 MVAh

Producción específica 1232 kWh/kWp/año
Proporción de rendimiento (PR) 67.19 %

Producciones normalizadas (por kWp instalado)



Proporción de rendimiento (PR)



Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR proporción
Enero	166.4	89.56	14.87	162.2	141.2	1.571	1.505	0.682
Febrero	154.2	68.02	14.89	150.0	131.5	1.455	1.393	0.683
Marzo	151.2	90.60	15.07	146.9	128.2	1.436	1.376	0.689
Abril	135.9	80.72	15.10	131.6	115.1	1.287	1.106	0.618
Mayo	159.9	72.73	15.44	155.1	135.6	1.514	1.452	0.688
Junio	126.2	70.84	15.26	122.3	106.6	1.199	0.918	0.552
Julio	159.7	68.36	15.82	155.4	135.7	1.509	1.447	0.685
Agosto	169.6	71.31	15.86	164.2	143.8	1.590	1.525	0.683
Septiembre	161.7	79.04	14.73	156.9	137.6	1.530	1.468	0.688
Octubre	179.1	70.97	15.72	173.7	152.5	1.682	1.612	0.682
Noviembre	157.1	70.93	15.17	152.3	133.2	1.486	1.425	0.688
Diciembre	168.5	66.27	13.84	163.3	143.0	1.600	1.533	0.690
Año	1889.5	899.37	15.15	1834.1	1603.8	17.860	16.761	0.672

Leyendas

GlobHor Irradiación horizontal global

DiffHor Irradiación difusa horizontal

T_Amb Temperatura ambiente

GlobInc Global incidente plano receptor

GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados

EArray Energía efectiva a la salida del conjunto

E_Grid Energía inyectada en la red

PR Proporción de rendimiento



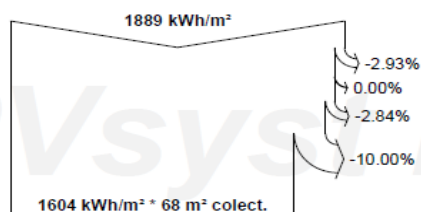
PVsyst V7.1.5

VC2, Fecha de simulación:
22/02/21 01:04
con v7.1.5

Proyecto: Supermercado MI REY (incl=18.4_
Azimut=20°)PYSYM

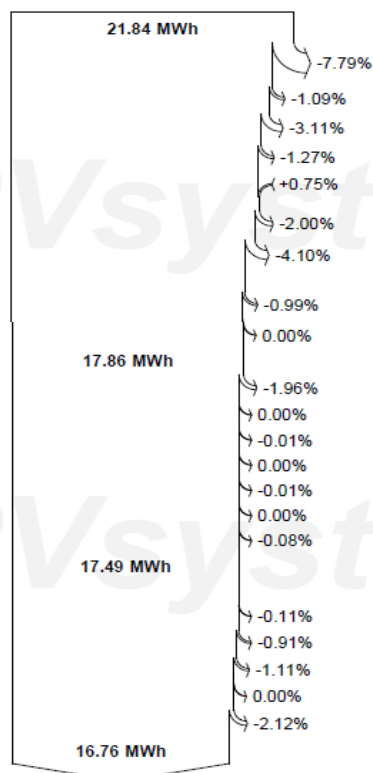
Variante: Nueva variante de simulación

Diagrama de pérdida



1604 kWh/m² * 68 m² colect.

eficiencia en STC = 19.91%



7.14 MVAR
18.22 MVA

Irradiación horizontal global

Global incidente plano receptor

Sombreados cercanos; pérdida de irradiancia

Factor IAM en global

Factor de pérdida de suciedad

Irradiancia efectiva en colectores

Conversión FV

Conjunto de energía nominal (con ef. STC)

Pérdida de degradación módulos (por año #20)

Pérdida FV debido al nivel de irradiancia

Pérdida FV debido a la temperatura.

Corrección espectral

Pérdida calidad de módulo

LID - Degradación inducida por luz

Pérdidas de desajuste, módulos y cadenas
(incluyendo 2% para dispersión por degradación)

Pérdida óhmica del cableado

Orientación mixta pérdida de desajuste

Energía virtual del conjunto en MPP

Pérdida del inversor durante la operación (eficiencia)

Pérdida del inversor sobre potencia inv. nominal

Pérdida del inversor debido a la corriente de entrada máxima

Pérdida de inversor sobre voltaje inv. nominal

Pérdida del inversor debido al umbral de potencia

Pérdida del inversor debido al umbral de voltaje

Consumo nocturno

Energía disponible en la salida del inversor

Auxiliares (ventiladores, otros ...)

Pérdidas óhmicas CA

Pérdida de transfo de voltaje medio

Pérdida óhmica de línea MV

Indisponibilidad del sistema

Energía activa inyectada en la red

Energía reactiva a la red: Cos(phi) = 0.920

Energía aparente a la red



PVsyst V7.1.5

VC1, Fecha de simulación:
24/02/21 13:06
con v7.1.5

Proyecto: Supermercado MI REY (incl=18.4_
Azimut=20°)(policristalino)PYSYM

Variante: DESCRIPCION ORIGINAL

Resultados principales

Producción del sistema

Energía producida

16.88 MWh/año

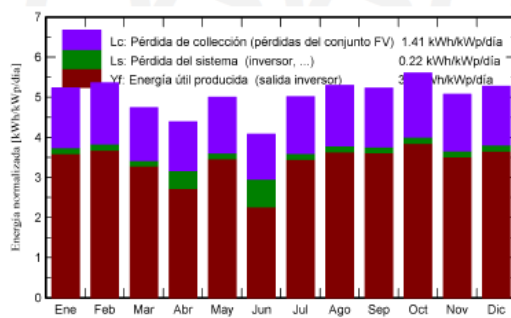
Producción específica

1241 kWh/kWp/año

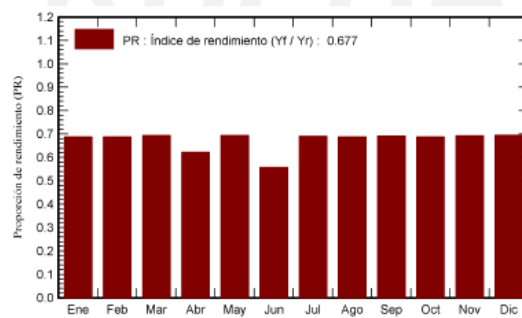
Proporción de rendimiento (PR)

67.66 %

Producciones normalizadas (por kWp instalado)



Proporción de rendimiento (PR)



Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR proporción
Enero	166.4	89.56	14.87	162.2	142.4	1.580	1.515	0.687
Febrero	154.2	68.02	14.89	150.0	132.4	1.462	1.402	0.687
Marzo	151.2	90.60	15.07	146.9	129.2	1.443	1.385	0.693
Abril	135.9	80.72	15.10	131.6	116.0	1.294	1.113	0.622
Mayo	159.9	72.73	15.44	155.1	136.7	1.523	1.463	0.694
Junio	126.2	70.84	15.26	122.3	107.6	1.207	0.926	0.557
Julio	159.7	68.36	15.82	155.4	136.9	1.518	1.459	0.690
Agosto	169.6	71.31	15.86	164.2	144.9	1.598	1.536	0.687
Septiembre	161.7	79.04	14.73	156.9	138.6	1.537	1.476	0.692
Octubre	179.1	70.97	15.72	173.7	153.6	1.690	1.623	0.687
Noviembre	157.1	70.93	15.17	152.3	134.3	1.494	1.435	0.693
Diciembre	168.5	66.27	13.84	163.3	144.1	1.607	1.543	0.694
Año	1889.5	899.37	15.15	1834.1	1616.6	17.954	16.876	0.677

Leyendas

GlobHor Irradiación horizontal global

DiffHor Irradiación difusa horizontal

T_Amb Temperatura ambiente

GlobInc Global incidente plano receptor

GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados

EArray Energía efectiva a la salida del conjunto

E_Grid Energía inyectada en la red

PR Proporción de rendimiento



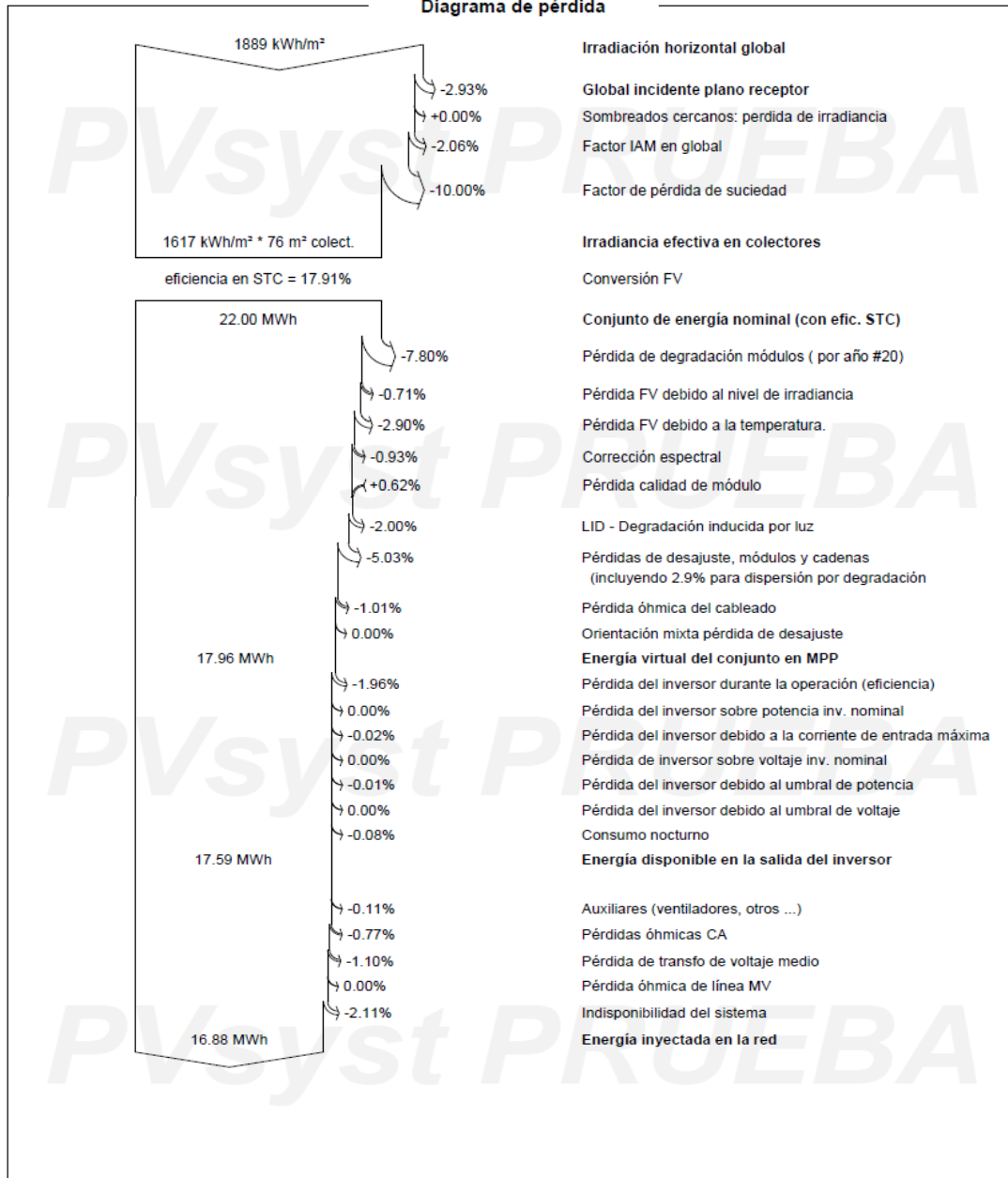
PVsyst V7.1.5

VC1, Fecha de simulación:
24/02/21 13:06
con V7.1.5

Proyecto: Supermercado MI REY (incl=18.4_
Azimut=20°)(policristalino)PYSYM

Variante: DESCRIPCION ORIGINAL

Diagrama de pérdida



ANEXO G

Diagrama unifilar del sistema de generación fotovoltaico con conexión a red

